



Radon rakennusten sisäilmassa: esiintyminen, enimmäisarvot, radonlähteet

Radonkorjauskoulutus 29.11.2023, Vantaa

Tuukka Turtiainen

Oppimistavoitteet tällä luennolla

Miksi radonaltistusta pitää rajoittaa?

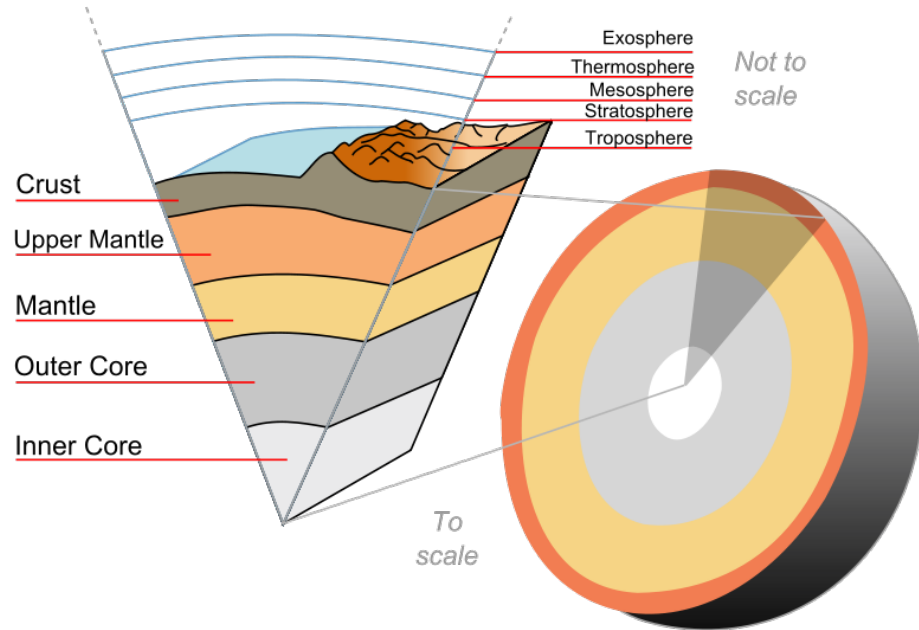
Mitkä ovat radonin enimmäisarvot?

Mitkä seikat vaikuttavat radonin kulkeutumiseen rakennusten sisäilmaan?



Radon on peräisin uraanista

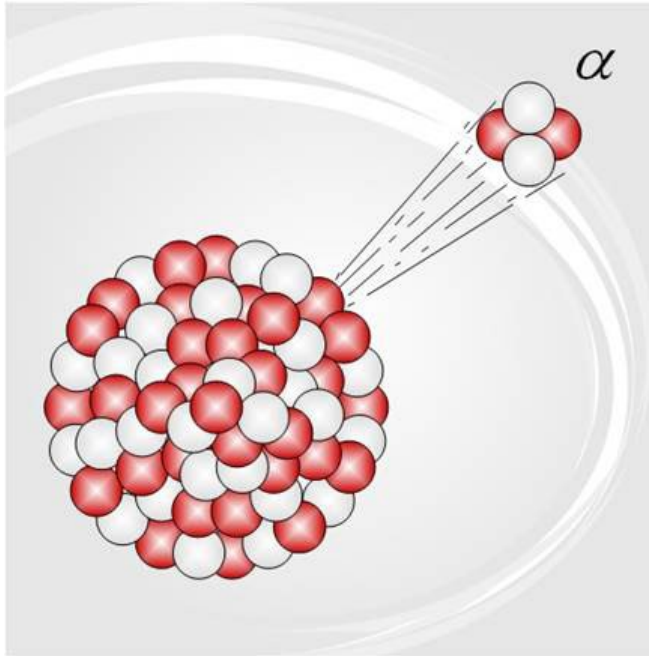
- Maankuoressa on pieniä määriä uraania
 - Suomessa keskimäärin 2 ppm (mg/kg)
- Uraani on radioaktiivinen aine, jolla on hyvin pitkä puoliintumisaika (4,5 miljardia vuotta)
- Graniittisissa kivilajeissa suurimmat U-pitoisuudet
- Geokemiallisten prosessien ansiosta siirtynyt koko elinympäristöön
- Radioaktiivisen hajoamisen seurauksena uraani tuottaa koko ajan maankuoressa muita radioaktiivisia aineita, kuten radonia
- Maaperästä radon voi kulkeutua
 - Rakennusten sisäilmaan
 - Juomaveteen



Lähde: Wikipedia

Säteilyn määrää kuvataan becquerelillä

- Radioaktiivisen aineen ytimessä on liikaa energiaa = viritystila
- Viritystila purkautuu niin, että ydin järjestyy uudelleen eli atomi hajoaa
- Samalla syntyy säteilyhiukkanen

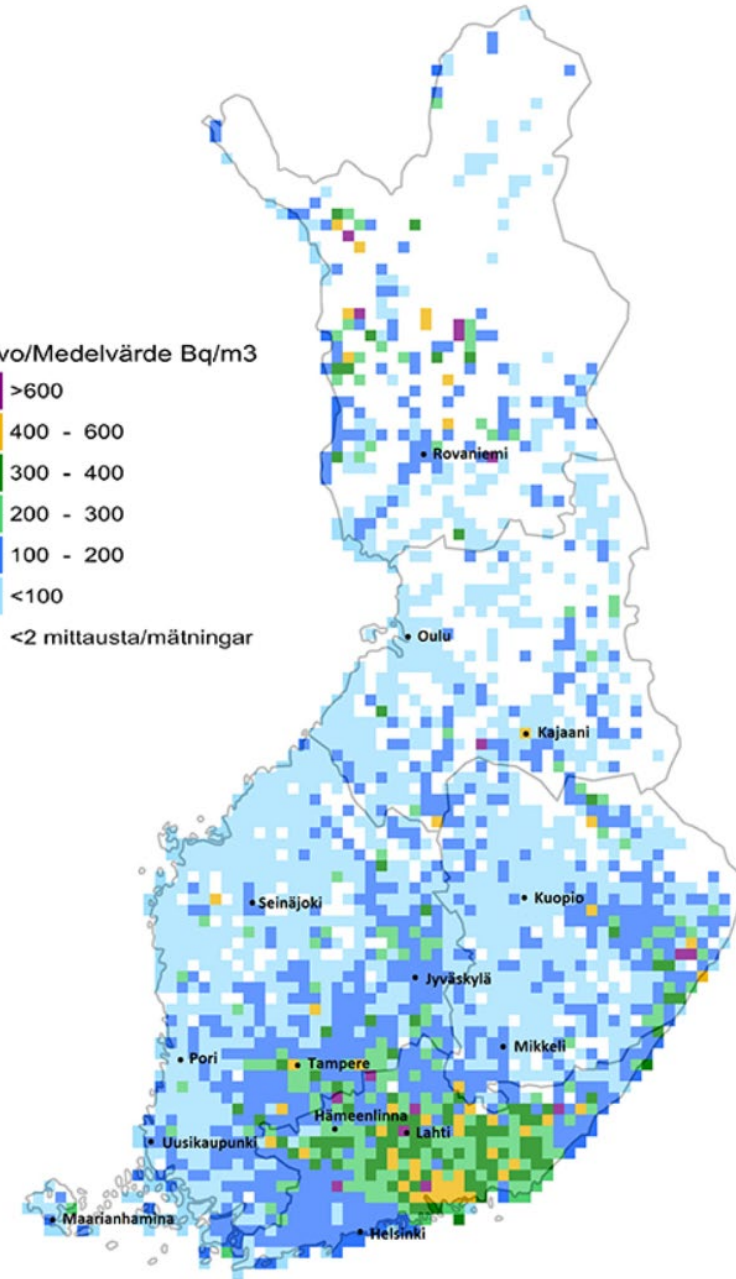


- Yksi becquerel (Bq) vastaa yhtä hajoamista sekunnissa
- Radonpitoisuuden yksikkö on Bq/m³
- Yksi becquerel (Bq) radonia vastaa vain 0,18 fg (femtogrammaa)
 $1,8 \cdot 10^{-16} \text{ g}$
- Sen massa on häviävän pieni
→ ei voi nähdä/ haistaa/ maistaa
- Esiintyy sekoittuneena ilmaan

Radonia esiintyy kaikkialla Suomessa

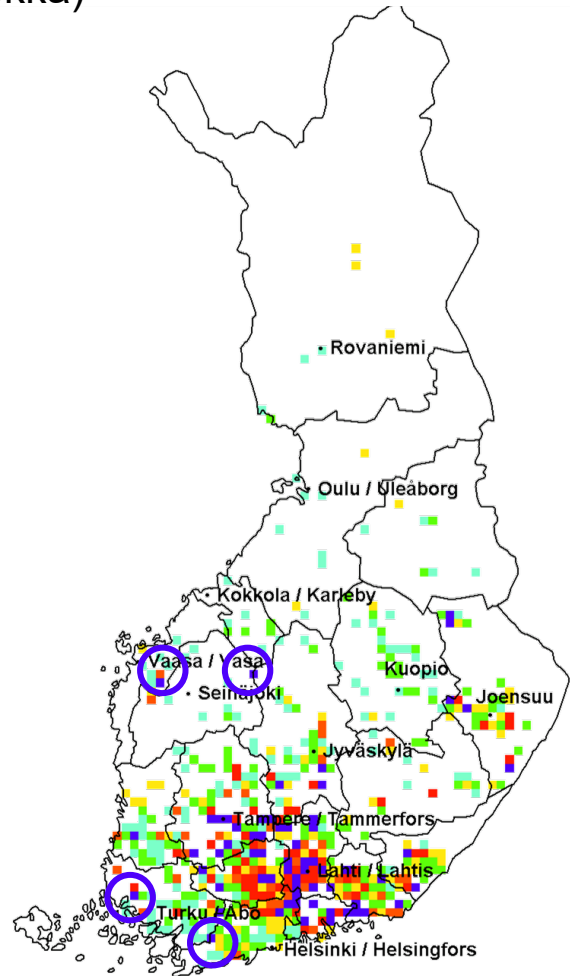
... mutta eniten Kaakkois-Suomessa ja Pirkanmaalla. Myös Länsi-Lapissa ja Pohjois-Karjalassa on selkeitä erityisen radonriskin alueita.

Korkeita pitoisuuksia eniten läpäisevillä maaperillä (soraharjut).



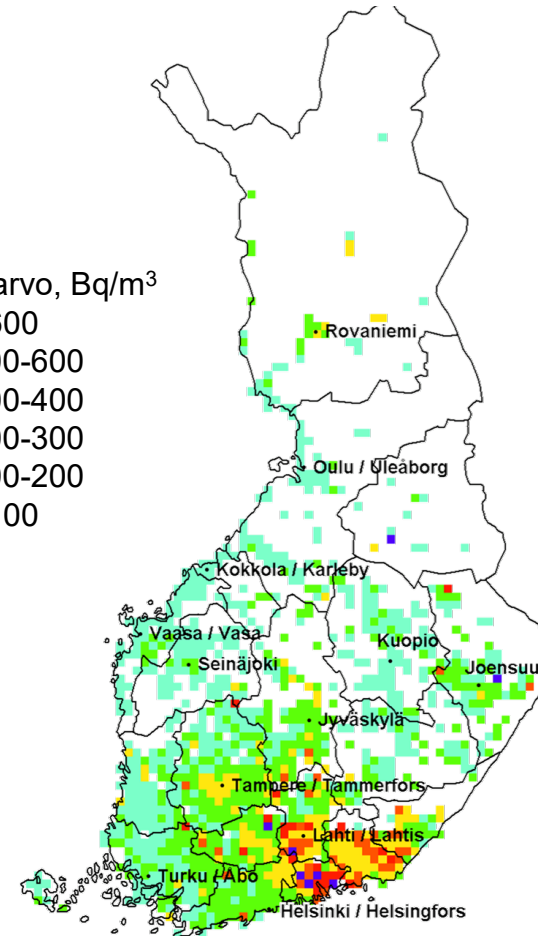
Soraharjuilla korkeimmat pitoisuudet

Harjut ja reunamuodostumat
(sora tai hiekka)



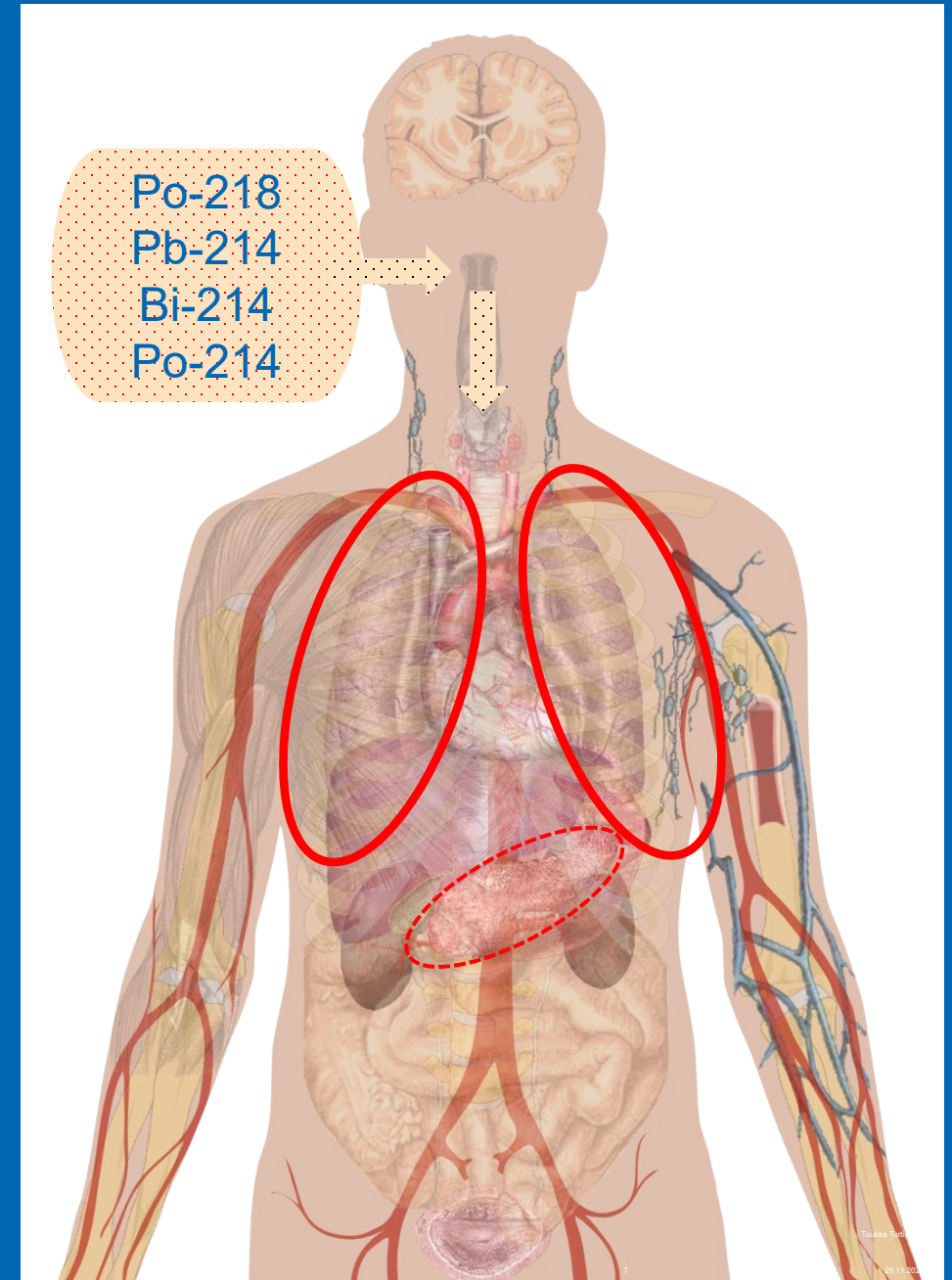
Muut maalajit

Keskiarvo, Bq/m³



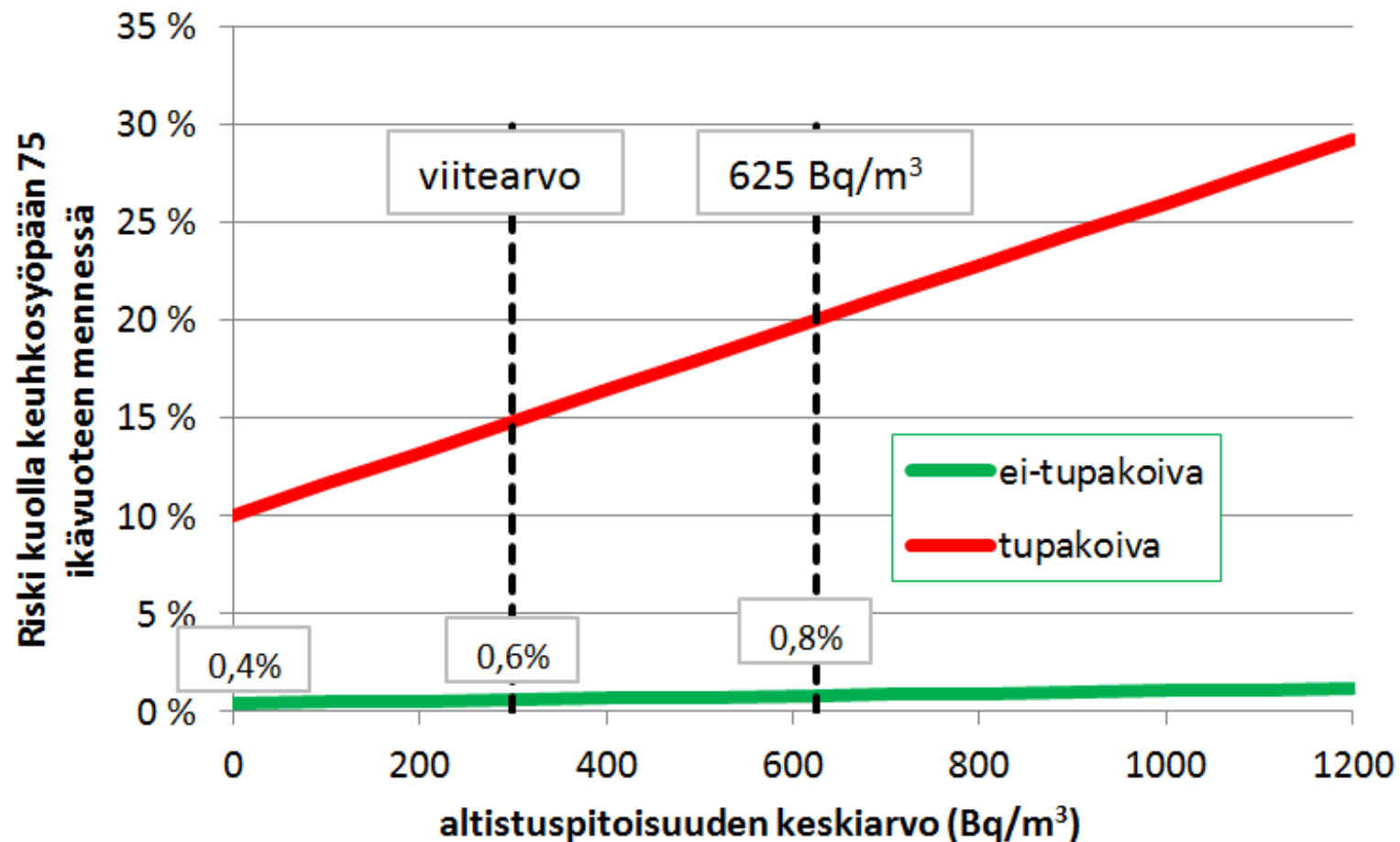
Radonin aiheuttama terveyshaitta

- Radonkaasu tuottaa jatkuvasti ilmaan lyhytikäisiä, radioaktiivisia hajoamistuotteita, jotka esiintyvät kiinteinä hiukkasina
- Radon ja hajoamistuotteet kulkeutuvat hengityksen mukana keuhkoihin
- Hiukkaset kiinnittyvät hengitysteihin ja aiheuttavat säteilyannoksen
- Riski sairastua keuhkosyöpään kasvaa
- Veden mukana juotu radon aiheuttaa nykytiedon mukaan vain vähäisen annoksen mahalaukulle



Radonin riskinarvioinnista

- Pitkäaikainen oleskelu pitoisuudessa 100 Bq/m^3 kasvattaa keuhkosyöpäriskiä 16 %
- Etenkin tupakoivat ovat vaarassa

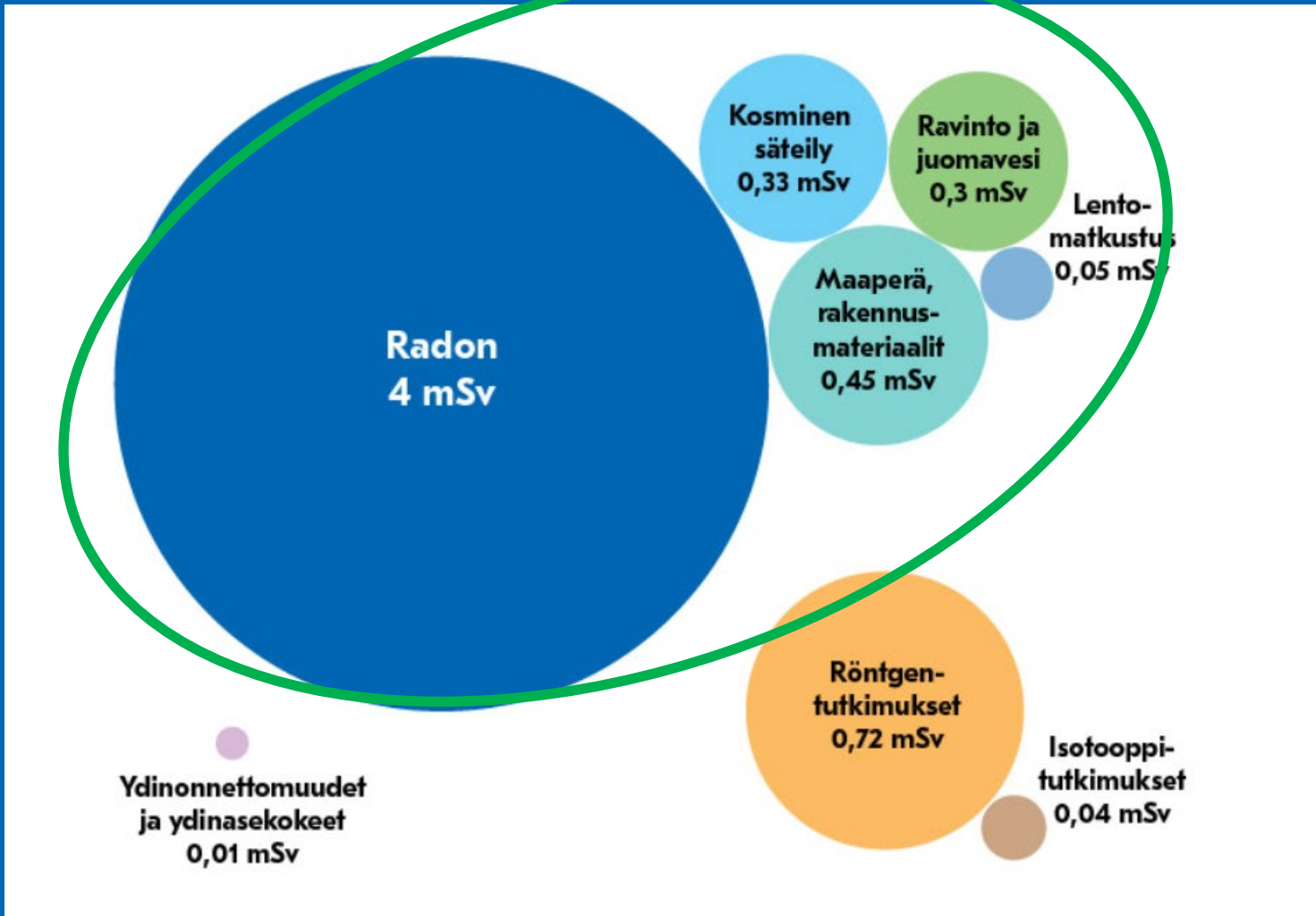


Radon on yksi merkittävimmistä ympäristöaltisteista



http://fi.opasnet.org/fi/Tiedosto:Ymp%C3%A4rist%C3%B6tautitaakka_Suomessa_isot.png

Radon on merkittävin säteilyaltiste väestölle



Luonnonsäteily

Säteilylaki 859/2018



Laki astui voimaan 15.12.2018



Lain tarkoituksena on

terveyden suojeleminen säteilyn aiheuttamilta haitoilta (työntekijät, potilaat, väestö) ehkäistä ja vähentää säteilystä aiheutuvia ympäristöhaittoja ja muita haittoja

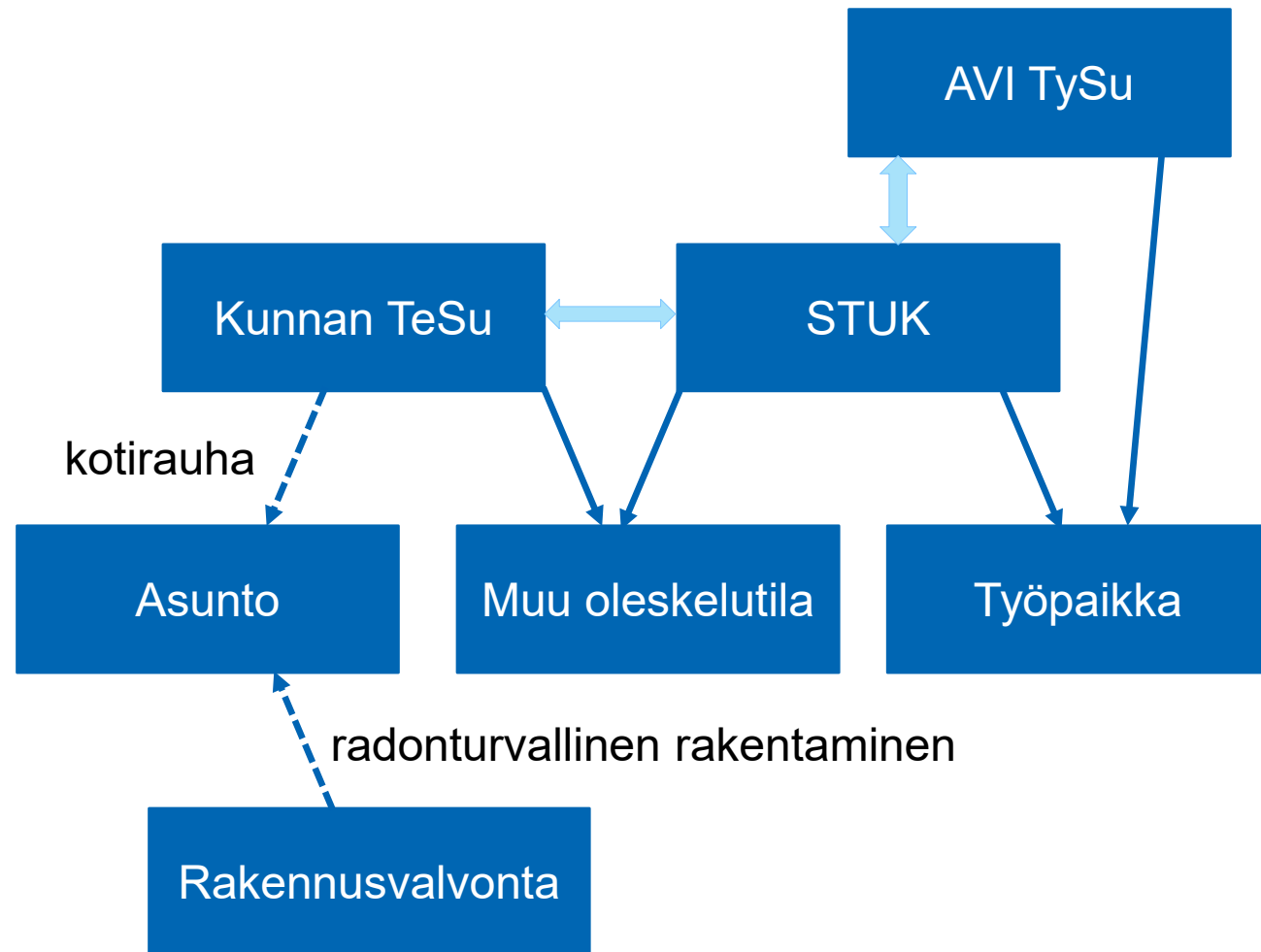


Lakia sovelletaan säteilytoimintaan, vallitsevaan altistustilanteeseen ja säteilyvaaratilanteeseen

Esim. säteilyn käyttö teollisuudessa ja lääketieteellinen altistus
Luonnonsäteily: mm. radon, luonnon radioaktiivisia aineita sisältävien aineiden käyttö

Viranomaiset

- Säteilylaki, 3 luku
 - 14 § Säteilyturvakeskus valvoo säteilylain noudattamista, jollei laissa toisin säädetä. (ml. työpaikkojen radonvalvonta)
 - 15 § Kunnan terveydensuojeluviranomainen valvooasuntojen ja muiden oleskelutilojen radonia koskevien viitearvojen noudattamista...
- Työpaikat, jotka muita oleskelutiloja (koulut, päiväkodit): Terveysturvajelu + STUK yhteistyössä
- AVIen työsuojelu
 - Työympäristö (Työturvallisuuslaki)
 - Yhteistyötä STUKin kanssa



Radonpitoisuuden viitearvot

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoivasta säteilystä ([1044/2018](#))

- Työpaikan, asunnon ja muun oleskelutilan radonpitoisuuden viitearvo on 300 Bq/m³
- Uuden rakennuksen suunnittelua ja toteutusta koskeva sisäilman radonpitoisuuden viitearvo on 200 Bq/m³
- Työperäistä altistusta koskeva viitearvo radonille on 500 000 Bq h/m³ vuoden aikana
 - Radonpitoisuus × työaika eri työtiloissa = työnaikainen radonaltistus
 - Esimerkki

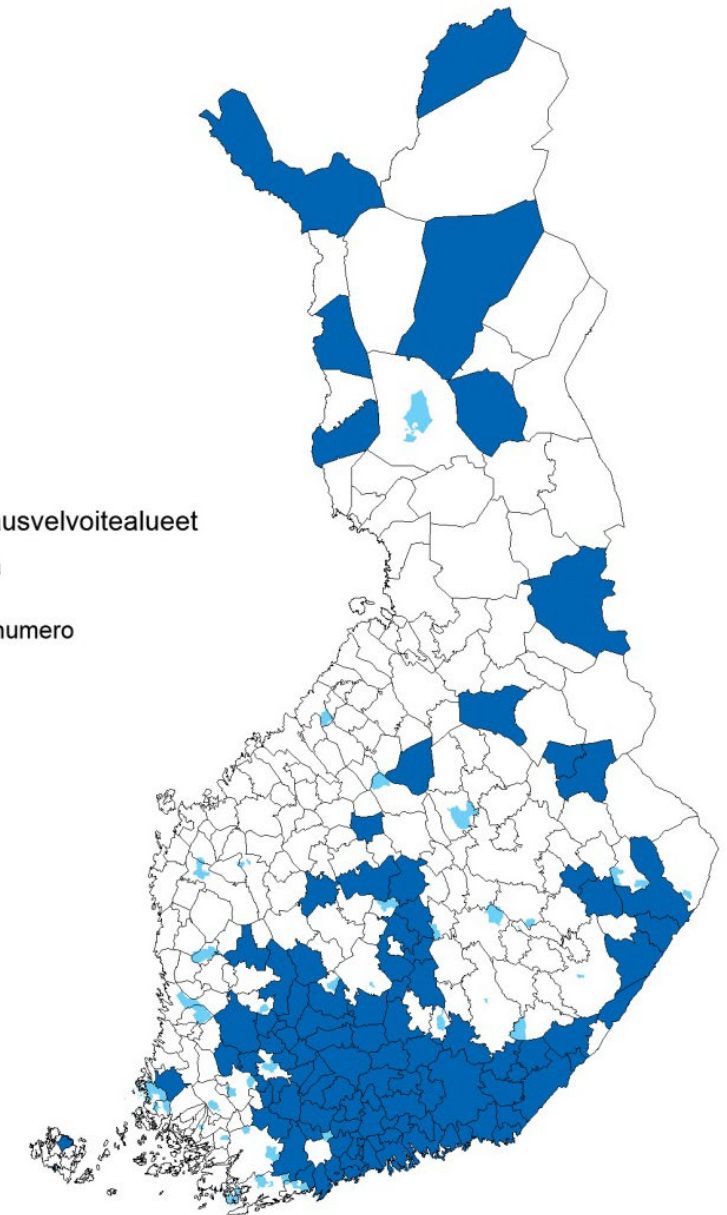
Radonpitoisuus (Bq/m ³)	Työtunnit (h/a)	Radonaltistus (Bq h/m ³)	Annos (mSv)
100	1500	150 000	0,9
1000	100	100 000	0,6
2000	50	100 000	0,6
Yht.	1650	350 000	2

Vuosikeskiarvo

- STM:n asetus 1044/2018:
 - Asunnon radonpitoisuus määritetään radonpitoisuuden **vuosikeskiarvona**, joka mitataan tai mittauksen perusteella arvioidaan vuoden pituiselta yhtäjaksoiselta ajalta
 - Työpaikan ja muun oleskelutilan radonpitoisuus lasketaan tilan **käytön aikaisena/työnaikaisena** radonpitoisuuden **vuosikeskiarvona**
- Radonmittauksen tulos = mittausjakson radonpitoisuuden keskiarvo
- Vuosikeskiarvoa voidaan arvioida kertomalla mittauskaudella saatu tulos luvulla 0,9 (STUKin määräys, työpaikat)
 - Korjauskertoimen luottamusväli (90 %) on kahden kuukauden mittauksella 0,6–1,5 ja kolmen kuukauden mittauksella 0,7–1,3
- Vuosikeskiarvon tarkkaa määrittystä varten tarvitsee tehdä koko vuoden kestävä mittaus

155 § Työpaikan radonpitoisuuden selvittäminen (=mittaaminen)

- Työnantajan on selvitettävä työtilan ja muun työskentelypaikan radonpitoisuus, jos työtilat sijaitsevat:
 - Harjulla tai muulla hyvin ilmaa läpäisevällä sora- tai hiekkamaalla (koko Suomessa)
 - Kokonaan tai osittain maanpinnan tason alapuolella
 - Talousvettä toimittavassa laitoksessa, jonka käyttämä vesi ei ole peräisin yksinomaan pintavesimuodostumasta ja pääsee kosketuksiin sisäilman kanssa
 - Tietyissä kunnassa tai postinumeroalueella, joissa >10% mittauksista viitearvon yli
 - 102 kuntaa sekä 53 postinumeroaluetta (aikaisemmin vain 60 kuntaa)
 - <https://www.stuk.fi/stuk-valvoo/luonnonsateilylle-altistava-toiminta/radon-tyopaikoilla/alueet-joissa-tyopaikkojen-radonmittaus-on-pakollinen>



Muita radoniin liittyviä pykäläiä

- 157 § Sisäilman radonpitoisuuden rajoittaminen rakennushankkeessa
 - **Rakennushankkeeseen ryhtyvän** on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja toteutetaan siten, että sisäilman radonpitoisuus on mahdollisimman pieni.
- 158 § Asunnon tai muun oleskelutilan sisäilman radonpitoisuuden rajoittaminen
 - **Rakennuksen omistajan ja haltijan** on huolehdittava osaltaan, että sisäilman radonpitoisuus on olosuhteet huomioiden mahdollisimman pieni
 - Säteilystä aiheutuvan terveyshaitan selvittämisestä, poistamisesta ja rajoittamisesta sekä näiden valvonnasta asunnossa ja muussa oleskelutilassa säädetään lisäksi terveydensuojelulaissa.

202 § Siirtymäsäännökset

Työpaikat

- Jos työpaikan radonpitoisuus on aikaisemmassa mittauksessa ollut 300–400 Bq/m³ (vuosikeskiarvo), viitearvoa sovelletaan viimeistään 10 vuoden kuluttua lain voimaan tulosta (eli viimeistään 15.12.2028)

Asunnot ja muut oleskelutilat

- Ennen tämän lain voimaantuloa rakennetussa asunnossa tai muussa oleskelutilassa, joka ei ole työpaikka ja jonka radonpitoisuus on ennen tämän lain voimaantuloa mittauksin todettu olevan säädettyä viitearvoa suurempi, kuitenkin enintään 400 Bq/m³, on huolehdittava säädetyn viitearvon noudattamisesta viimeistään, kun asuntoon tai muuhun oleskelutilaan tehdään seuraava sellainen korjaustoimi, jonka yhteydessä radonpitoisuuden pienentäminen on tarkoituksenmukaista.

Viitearvon ylitykset pientaloasunnoissa

	Keskiarvo Bq/m ³	Yli 200 Bq/m ³ osuus (kpl)	Yli 400 Bq/m ³ osuus (kpl)
Ahvenanmaa	121	14,8 % (1200)	6,3 % (500)
Etelä-Karjala	213	31,2 % (12300)	11,4 % (4500)
Etelä-Pohjanmaa	82	5,3 % (3700)	1,5 % (1100)
Etelä-Savo	98	7,4 % (3800)	1,1 % (500)
Itä-Uusimaa	297	42,6 % (12200)	18,6 % (5300)
Kainuu	113	9,1 % (2500)	3,4 % (900)
Kanta-Häme	230	35,4 % (17500)	10,9 % (5400)
Keski-Pohjanmaa	53	1,6 % (400)	0,7 % (200)
Keski-Suomi	135	16,4 % (12600)	3,3 % (2600)
Kymenlaakso	274	48,8 % (26400)	18,1 % (9800)
Lappi	120	11,1 % (6600)	3,1 % (1800)
Pirkanmaa	214	30,0 % (34600)	9,7 % (11200)
Pohjanmaa	54	1,7 % (900)	0,5 % (200)
Pohjois-Karjala	143	14,8 % (8300)	4,2 % (2300)
Pohjois-Pohjanmaa	58	1,7 % (1900)	0,2 % (300)
Pohjois-Savo	82	5,8 % (4100)	0,4 % (300)
Päijät-Häme	331	46,6 % (22000)	20,0 % (9500)
Satakunta	74	4,7 % (3500)	0,7 % (600)
Uusimaa	158	22,8 % (52200)	6,0 % (13700)
Varsinais-Suomi	100	9,0 % (10800)	1,7 % (2000)
Yhteensä	142	17,4 % (237300)	5,3 % (72600)

Viitearvo 300 Bq/m³ ylittyy noin 100 000 asunnossa

Sisäilman radonlähteet

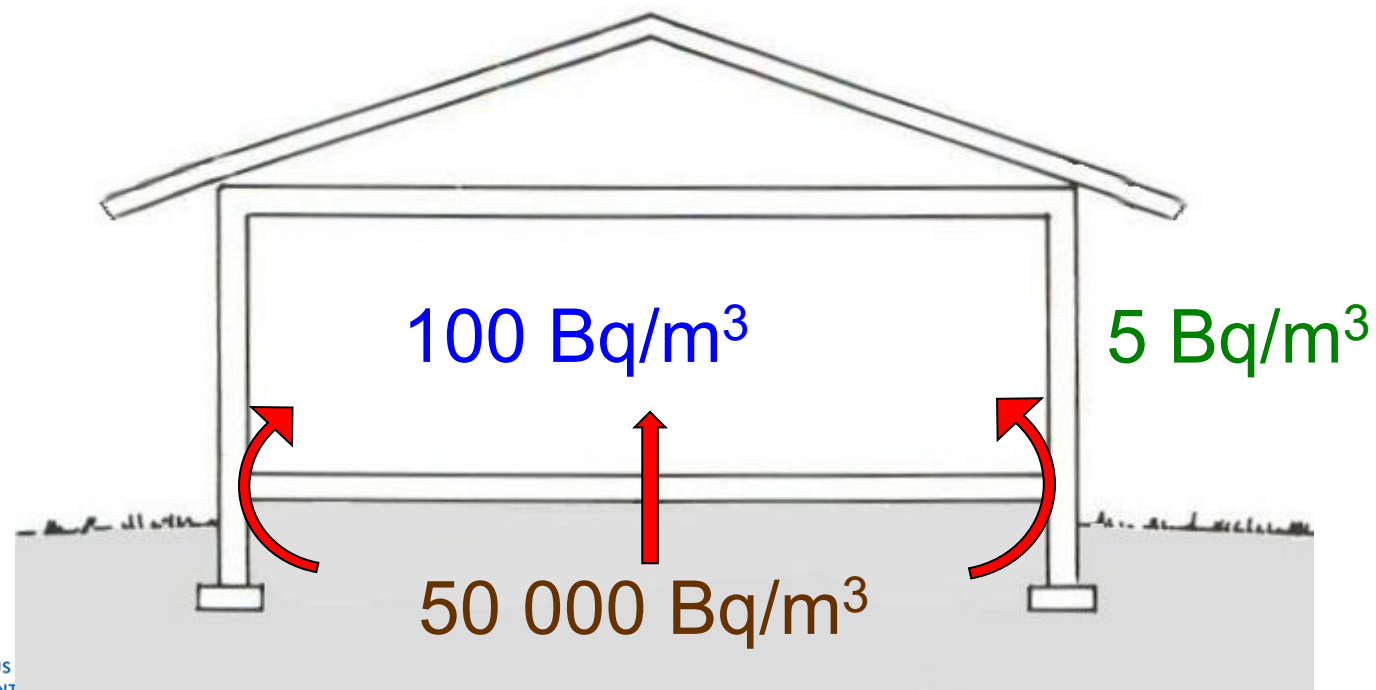
1. Rakennuksen alla ja ympärillä oleva maaperä
2. Täyttömaa, kapillaarikatko
3. Kallioperä
4. Talousvesi
 - 1000 Bq/l vedessä → 40 Bq/m³ sisäilmassa
5. Rakennusmateriaalit
6. Ilmanvaihto
 - Ulkoilmassa n. 10 Bq/m³



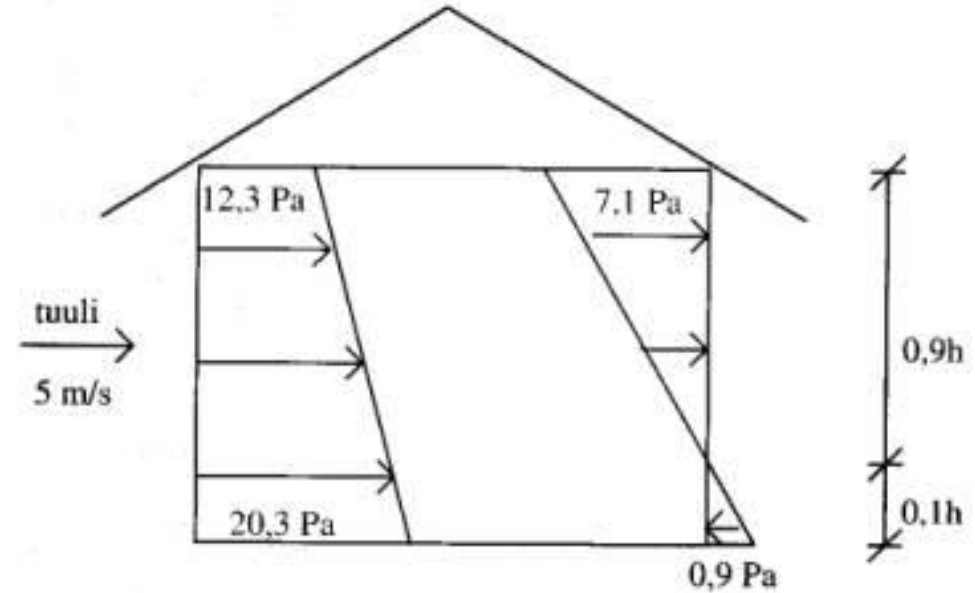
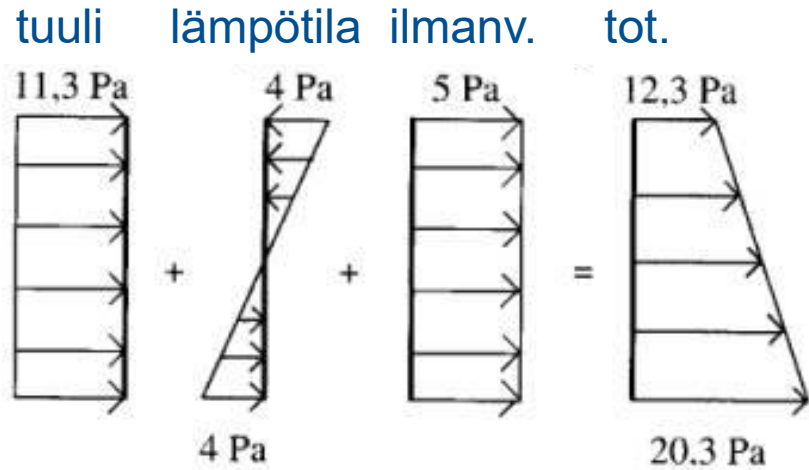
Radonpitoinen huokosilma kulkeutuu maaperästä alipaineiseen asuntoon

Alipainetta aiheuttavat:

- ulko- ja sisäilman lämpötilaero ($0 - 20 \text{ °C} \rightarrow 1-3 \text{ Pa}$)
- koneellinen ilmanvaihto (tulo+poisto $2-5 \text{ Pa}$, poisto $5-10 \text{ Pa}$)
- tuuli

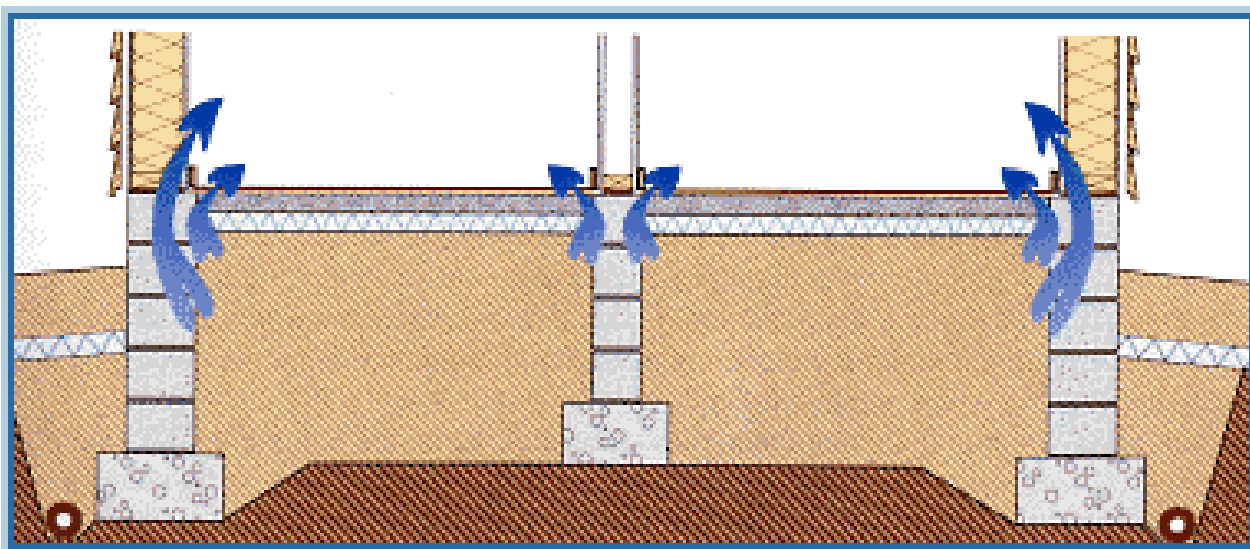


Paine-eroon vaikuttavat



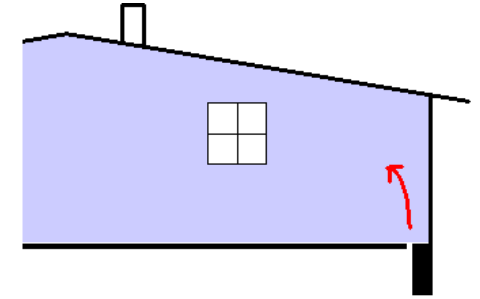
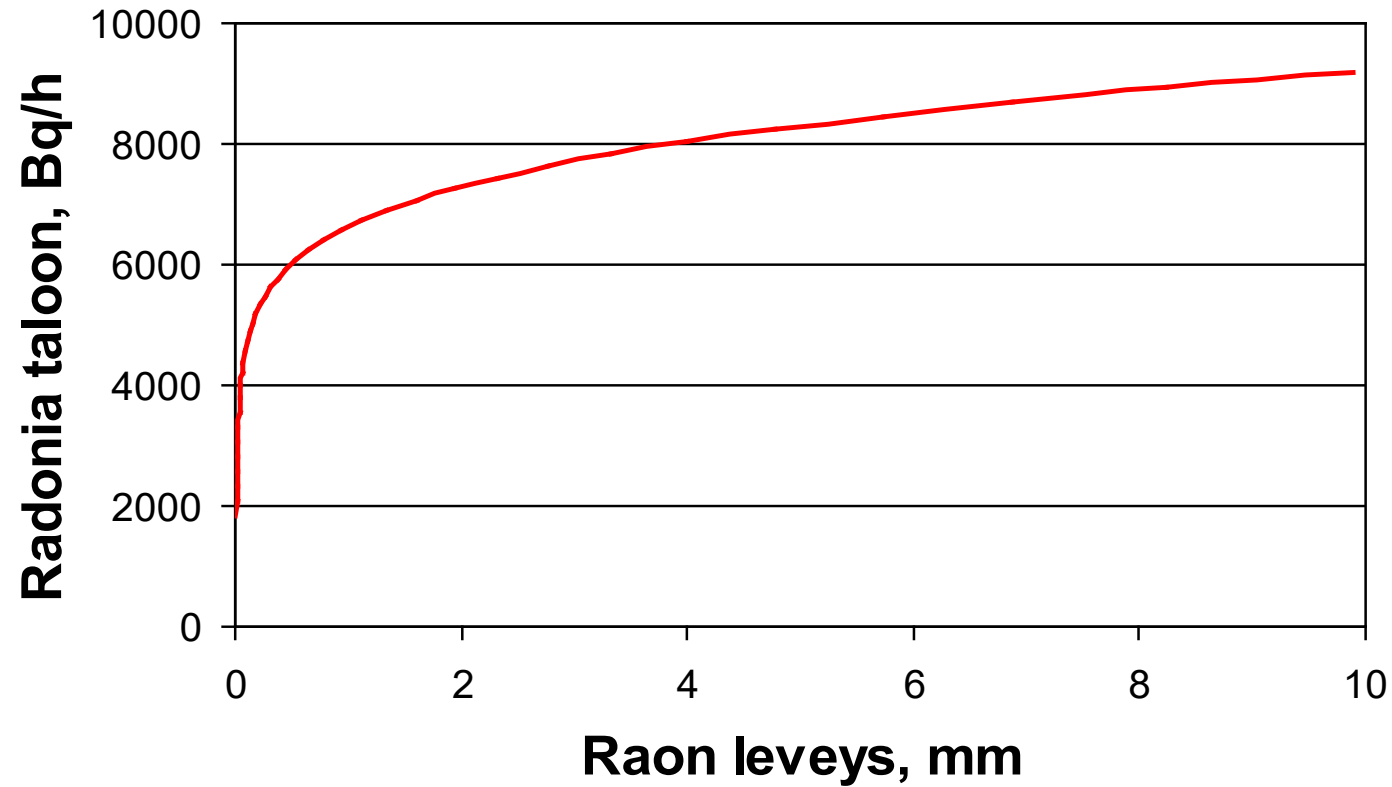
Lähde:
Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008. Sisäilmayhdistys

Vuotoreitit: maanvarainen laatta

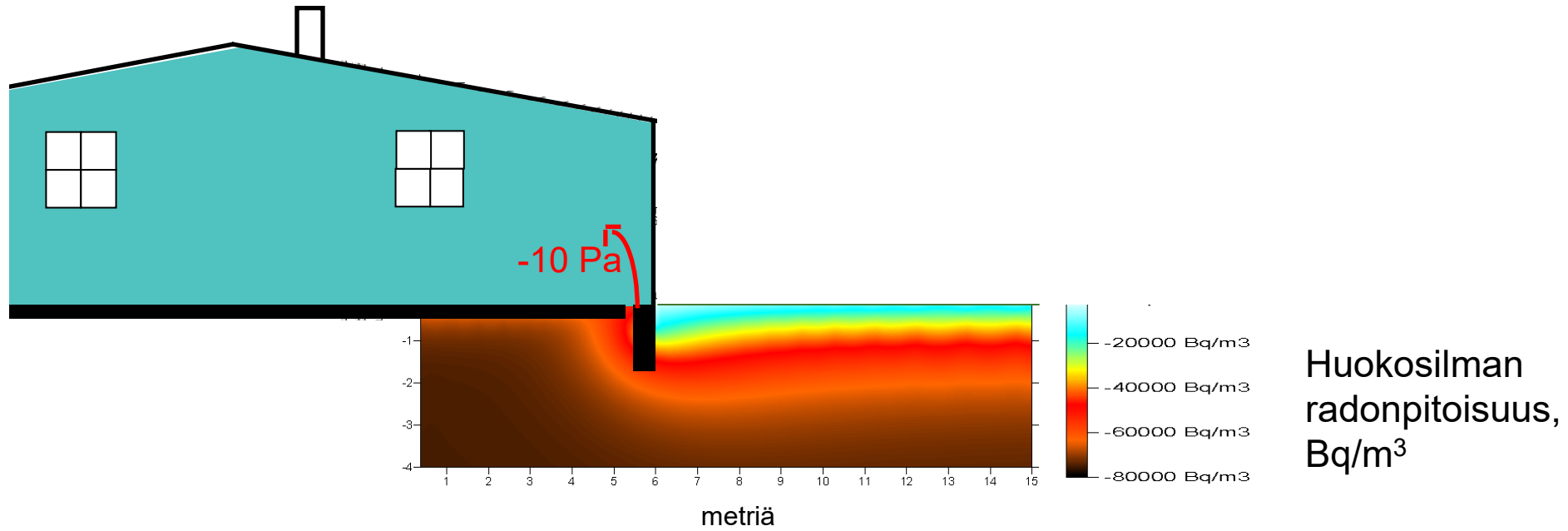


- Lattialaatan ja sokkelin välinen rako
- Kevytsoraharkosta tehty sokkeli
- Kantavien väliseinien liitoskohdat
- Putkien läpiviennit
- Huonokuntoinen laatta

Maaperän huokosilma kulkeutuu sisälle kapeastakin raosta



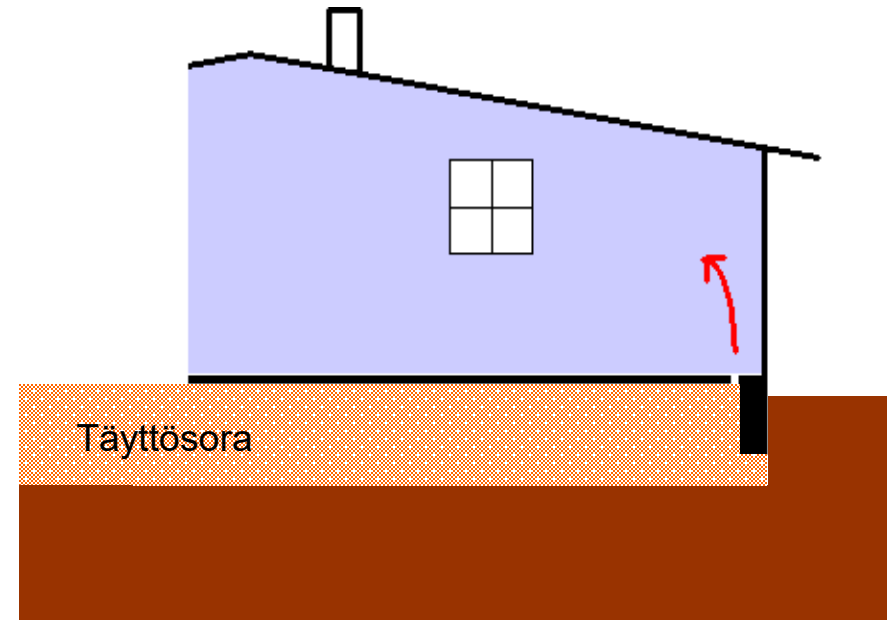
Lämpäisevässä maaperässä huokosilma kulkeutuu helposti



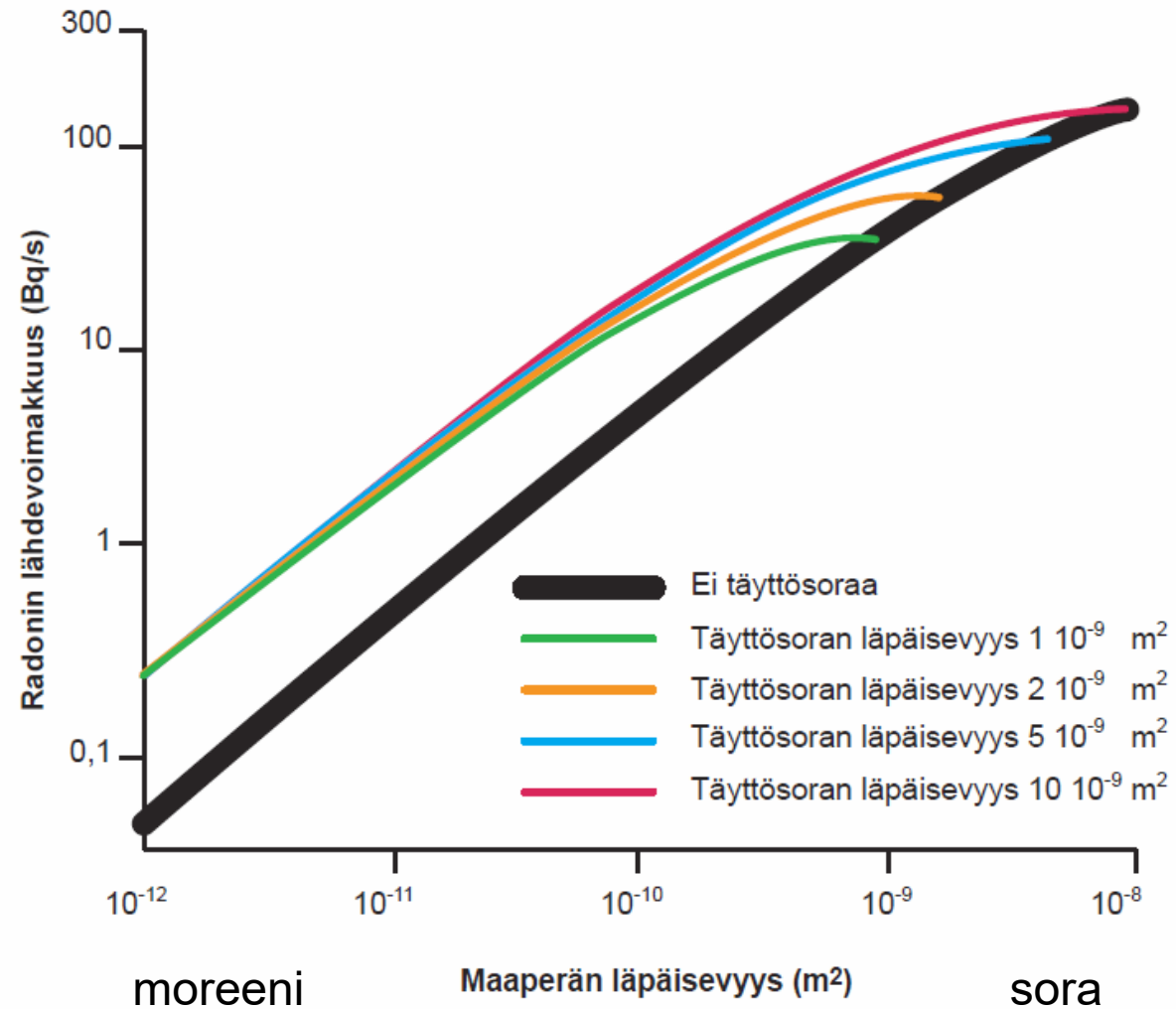
Täyttömaan vaikutus

- Karkea, läpäisevä täyttösora kasvattaa maaperästä asuntoon suuntautuvaa ilmavirtausta.

→ Täyttösora kasvattaa radonpitoisuutta, vaikka sora itse ei tuottaisi radonia.
- Täyttösoran oma radontuotto osaltaan kasvattaa asuntoon tulevan radonin määrää.



Maaperän läpäisevyys vaikuttaa vuotovirtauksiin



Ilmanläpäisevyyksiä

- kostea savi, betonilaatta 10^{-15} m^2
- hieno siltti 10^{-13} m^2
- keskitiivis hiekka 10^{-11} m^2
- hieno sora 10^{-9} m^2
- karkea sora, kevytsoraharkko 10^{-7} m^2

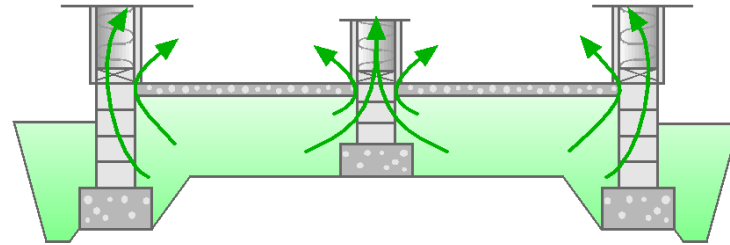
Karkeilla maalajeilla ilmanläpäisevyys n. 1...2 kertaa vedenläpäisevyys, hienoilla maalajeilla ero on paljon suurempi (1000-kertainen).

Kosteus pienentää läpäisevyyttä, mutta lisää radontuottoa

Perustamistapa vaikuttaa radonpitoisuuteen

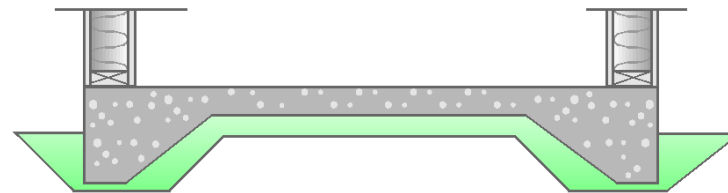
Maanvarainen laatta ja perusmuuri

- yleisin perustamistapa
- radonin kannalta haasteellinen perustamistapa



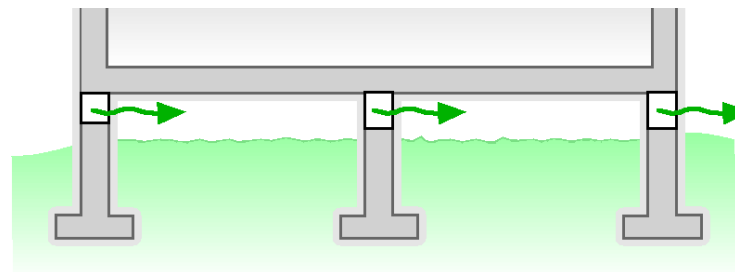
Reunavahvistettu laatta

- yhtenäinen rakenne



Tuulettuva alapohja (ryömintätila)

- radonpitoinen ilma laimenee tuulettuvassa alapohjassa

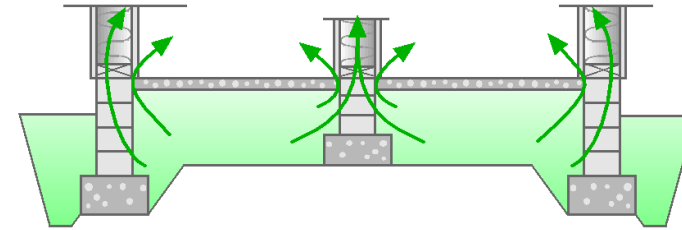


Keskimääräiset pitoisuudet eri perustamistavoilla

Maanvarainen laatta,
ei kellaria

- perusmuuri valubetonia
- kevytsoraharkoista

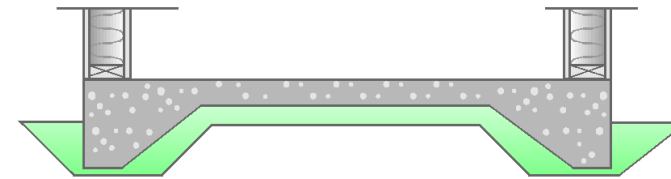
109 Bq/m³
154 Bq/m³



Reunavahvistettu laatta

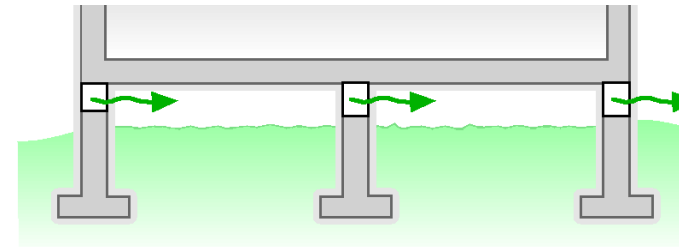
* todellisuudessa pienempi, koska tämä perustamistapa on vaikea tunnistaa

93 Bq/m³*



Ryömintätilainen perustus

61 Bq/m³



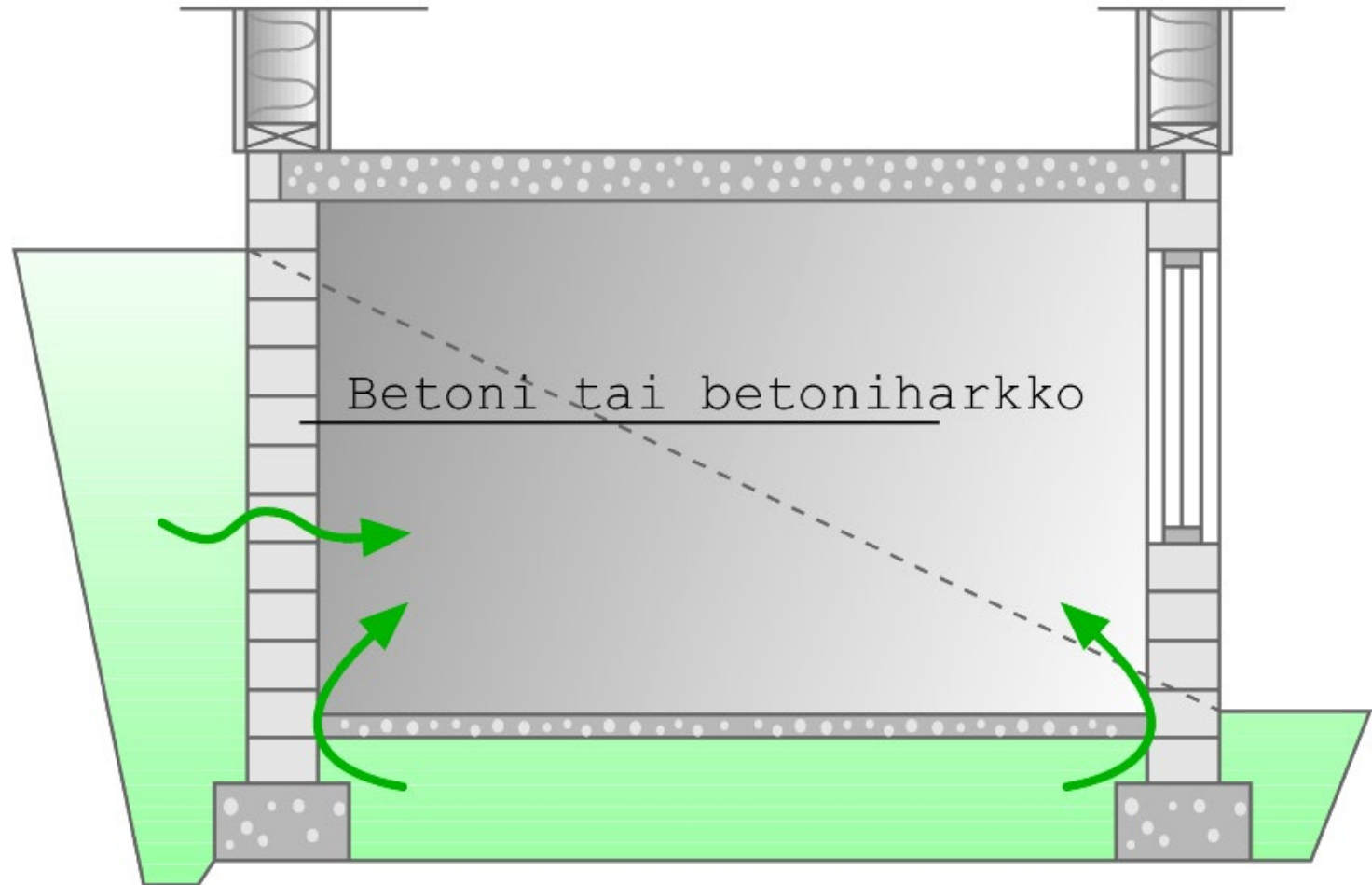
*Keskimääräiset radonpitoisuudet
STUK:n otantatutkimus 2006-2007*

Rinnetaloissa keskimäärin suurimmat pitoisuudet

Rinnetalo, avoin portaikko alimpaan kerrokseen

156 Bq/m³

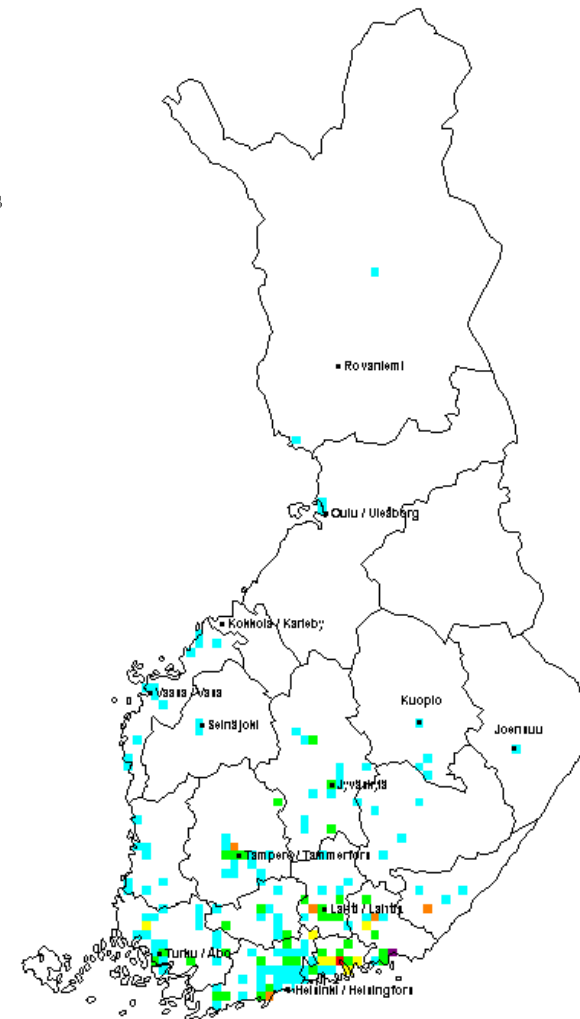
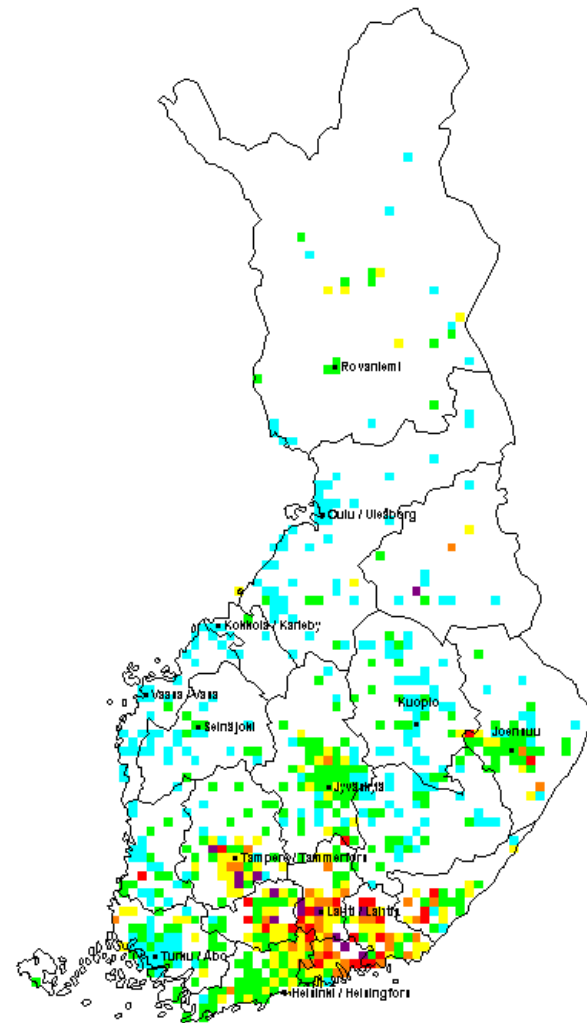
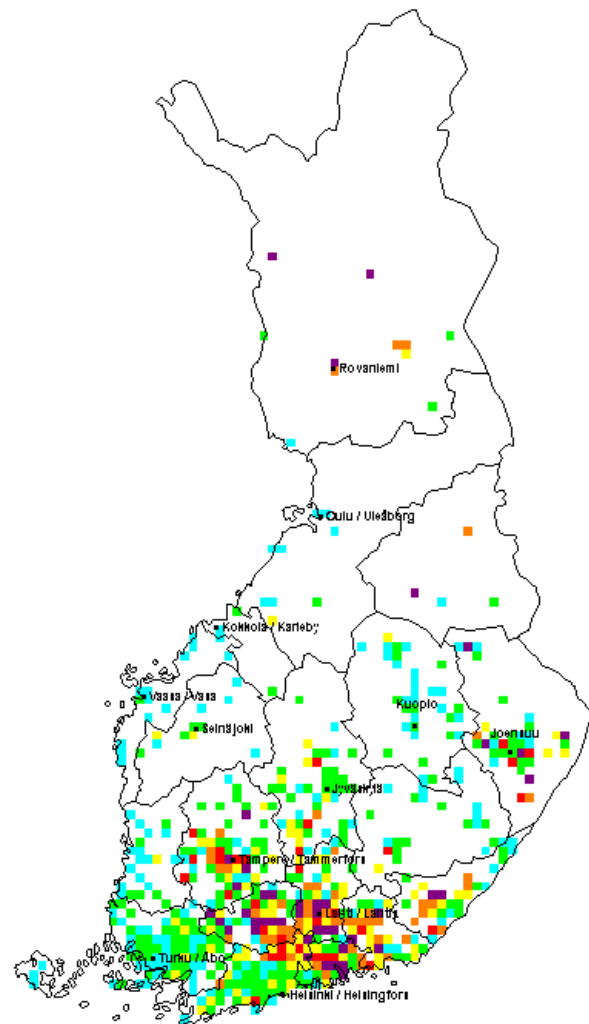
Keskimääräinen radonpitoisuus STUK:n otantatutkimus 2006-2007



Rinnetalo

Maanvarainen laatta

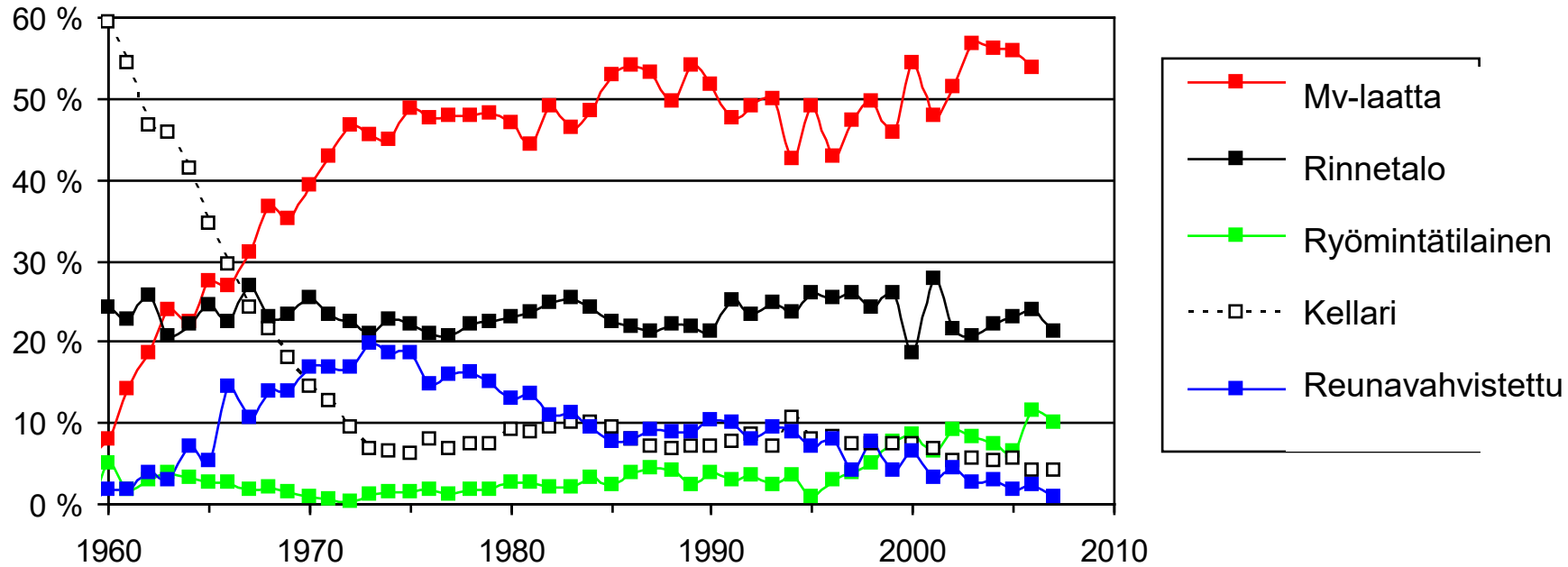
Ryömintätilainen



Keskiarvo, Bq/m³
Medelvärde, Bq/m³
Average, Bq/m³

- > 600
- 400-600
- 300-400
- 200-300
- 100-200
- < 100

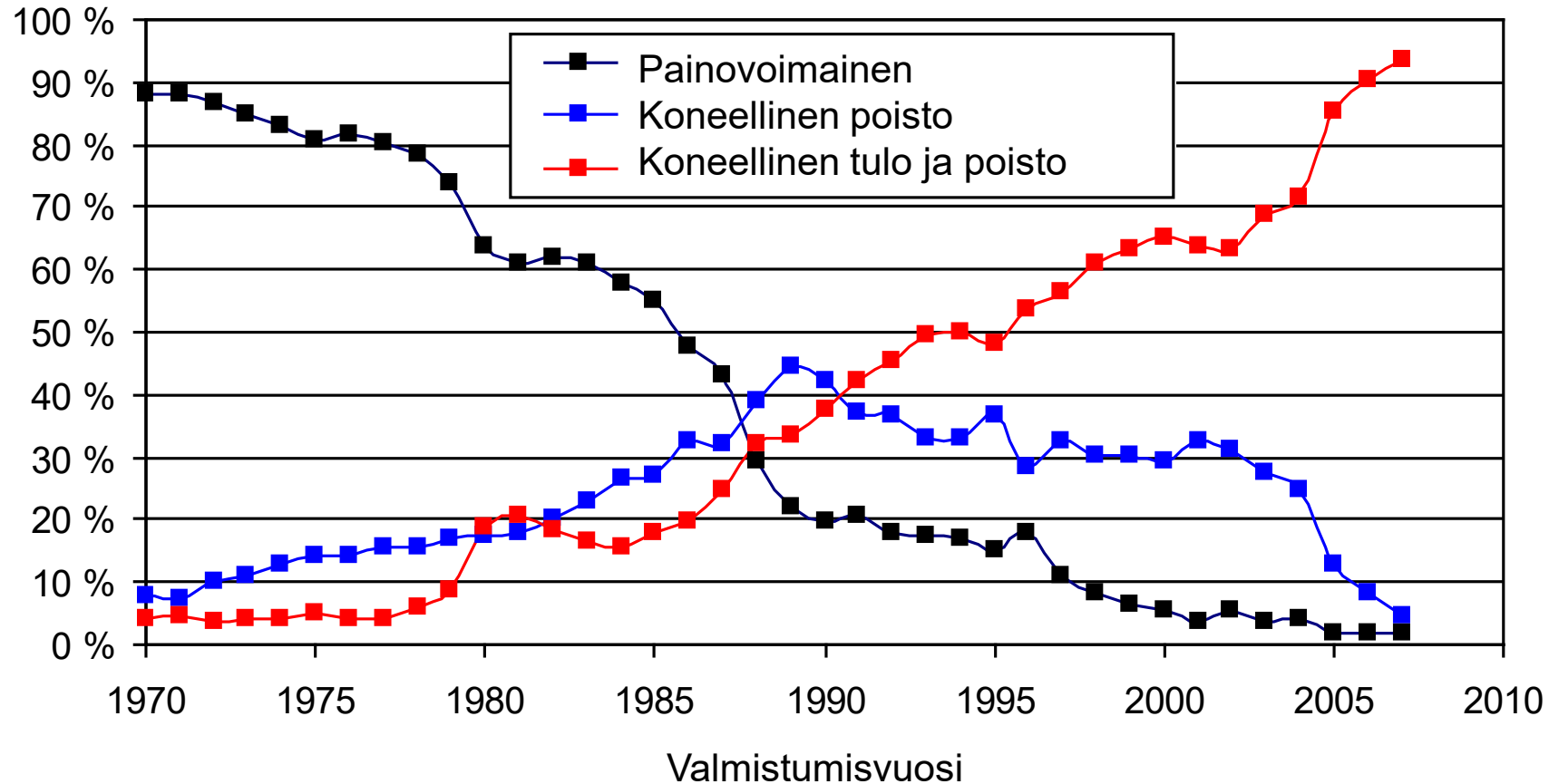
Suomalaisen pientalon perustamistavat



Valmistumisvuosi

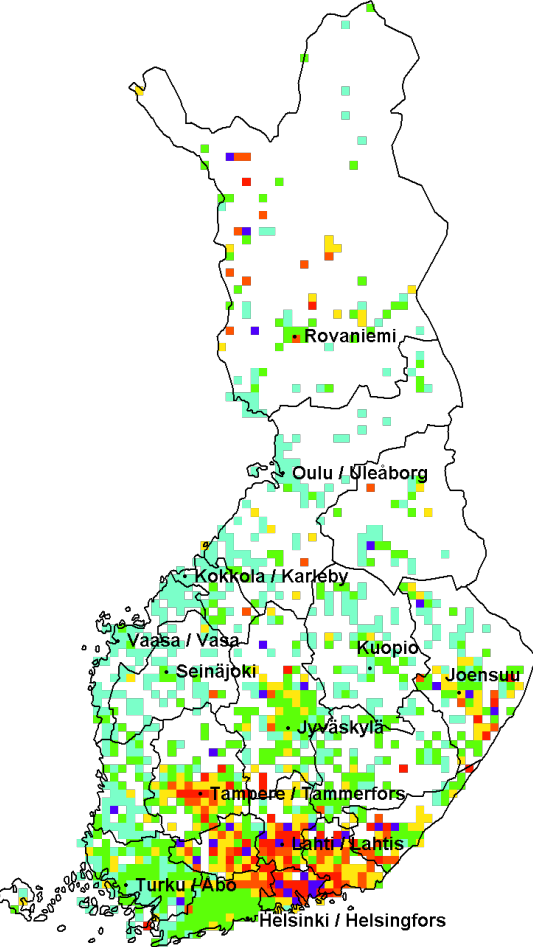
- Maanvarainen laatta kesto-suosikki
- Ryömintätalaitset yleistyneet viime aikoina
- Tiedot kerätty asukkailta radonmittauksen yhteydessä

Suomalaisen pientalon ilmanvaihtotavat

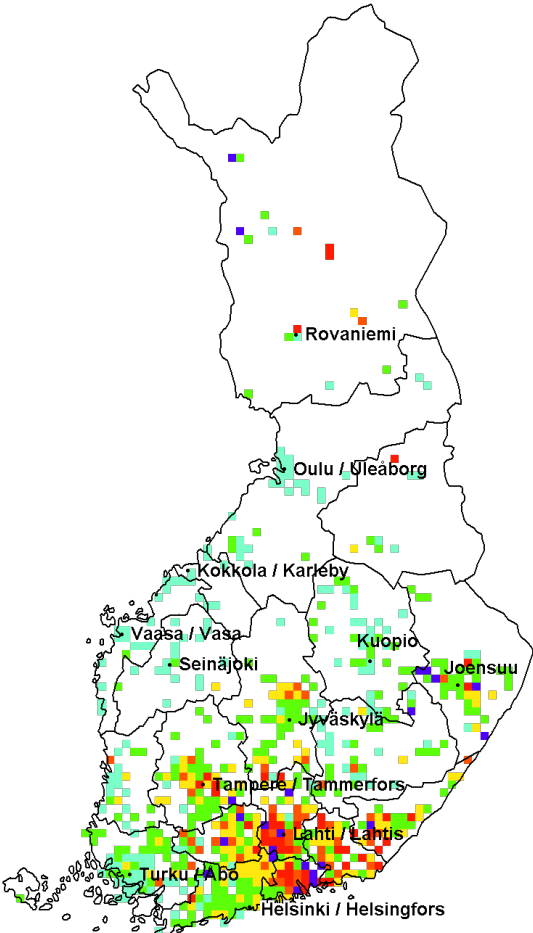


Radonpitoisuudet kääntyneet laskuun 2000-luvulla

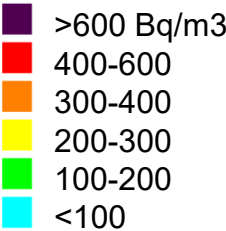
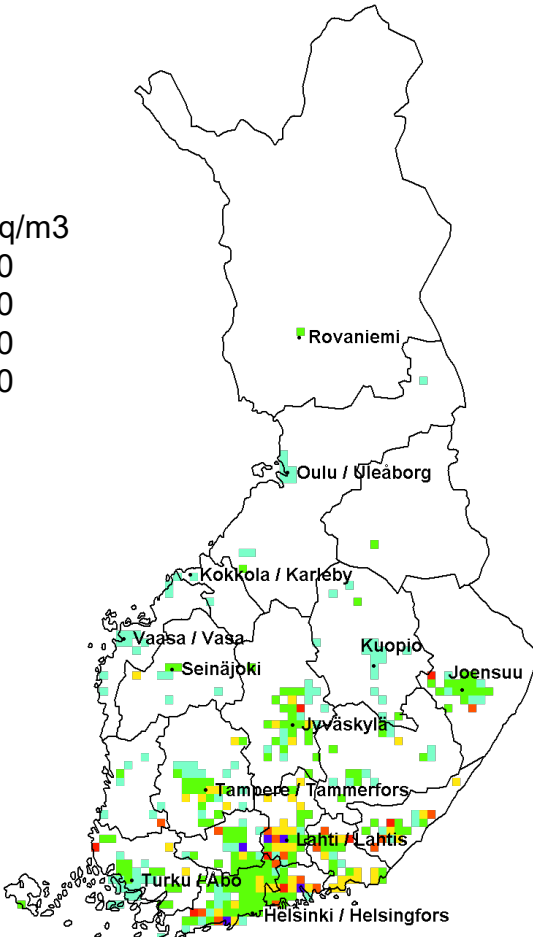
1980-luku



1990-luku



2000-luku



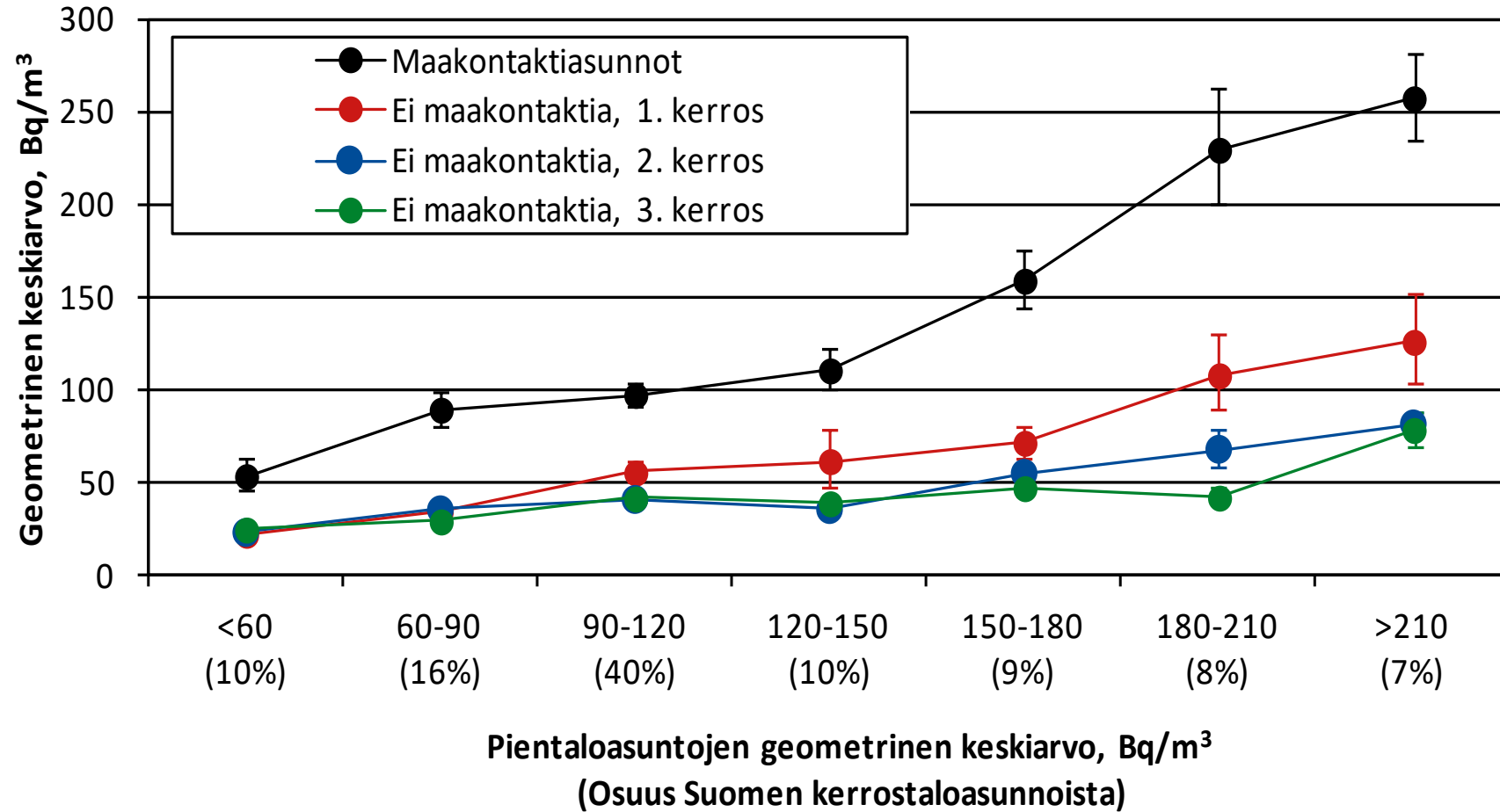
Kerrostalot

- Alimmassa kerroksessa, jos lattia yhteydessä maaperään, esiintyy korkeita pitoisuuksia. Suuri alipaine (10-20 Pa) nostaa pitoisuutta.
- Ylemmissä kerroksissa radon tulee lähes yksinomaan rakennusmateriaaleista. Putkikanavia myöten radon saattaa siirtyä maaperästä myös ylempiin kerroksiin.

Asunnon alla on:	Kpl	Keskiarvo Bq/m ³	Mediaani Bq/m ³	Suurin Bq/m ³
Toinen asunto tai muita tiloja	523	44	36	424
Maata tai kalliota	49	122	79	687
Yhteensä	572	51	37	687

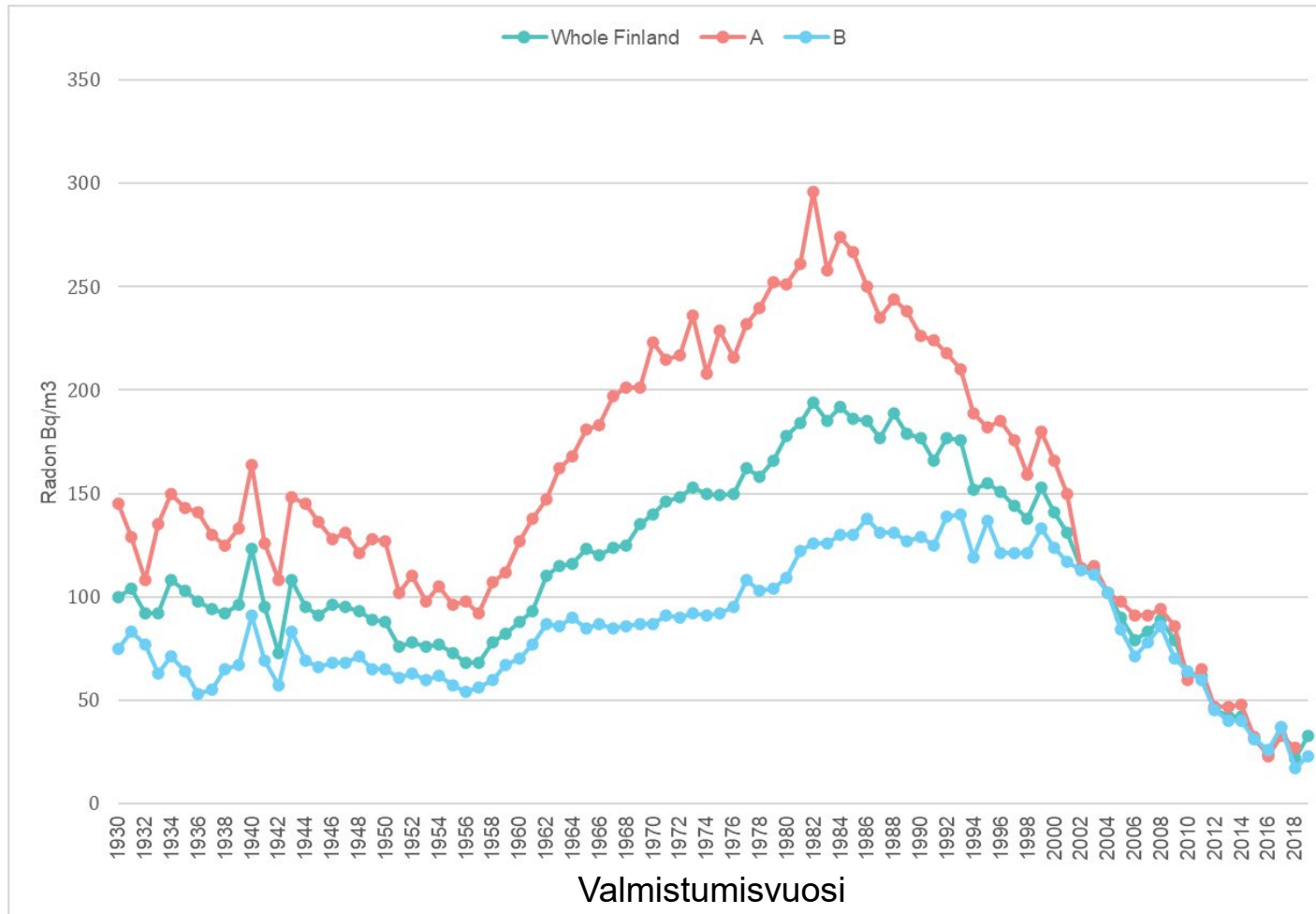
Säteilyturvakeskuksen otantatutkimus 2006-2007

Maakontaktiasuntojen radonpitoisuus keskimäärin sama kuin kyseisen kunnan pientaloasunnoissa



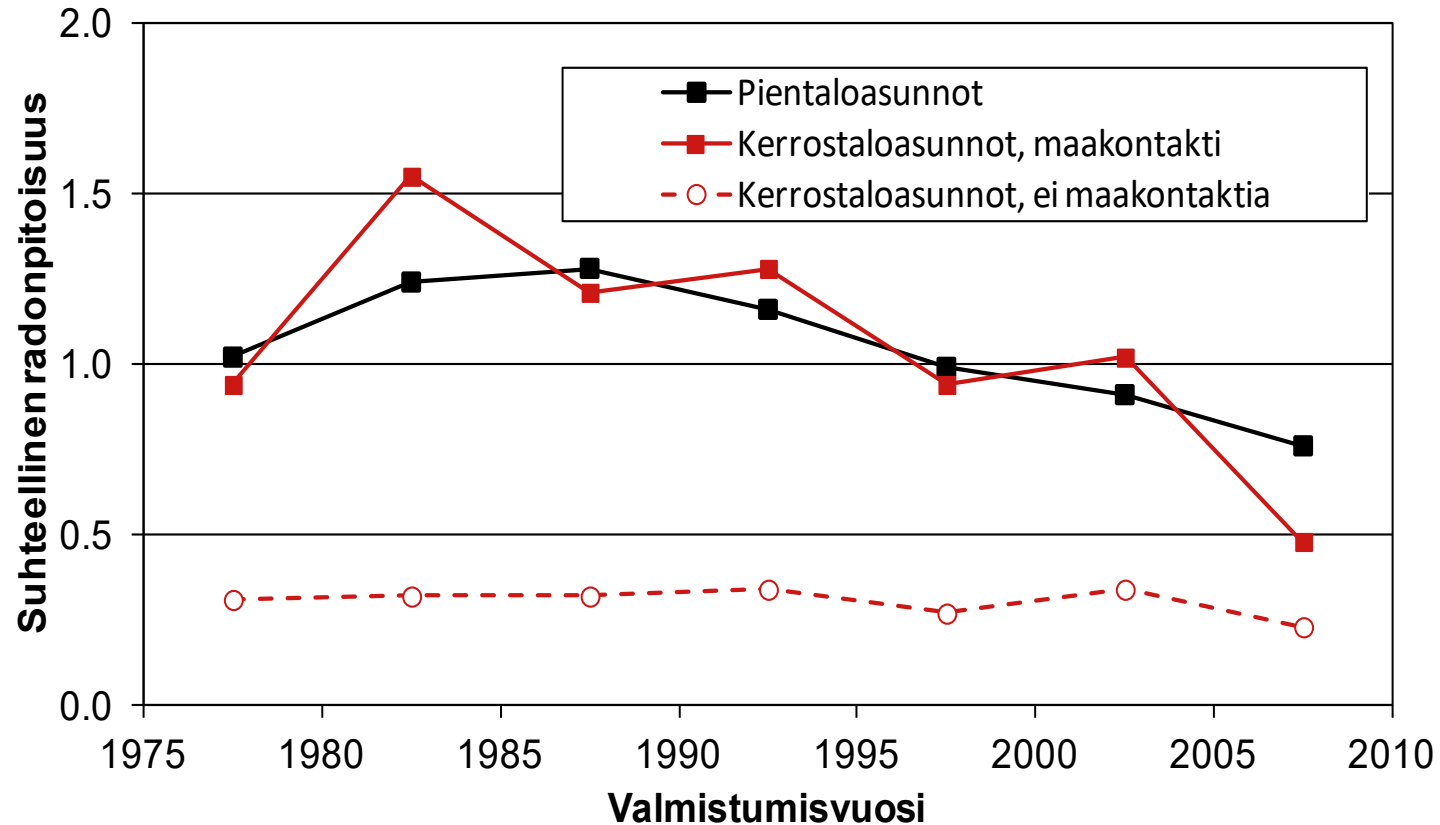
Määritetty STUKin radonmittaustietokannasta ottaen huomioon mittausten epätasainen alueellinen jakautuminen.

Pientaloasuntojen radonpitoisuus



- Lääkintöhallituksen ohjauskirje 1986
 - olemassa olevat asunnot $<800 \text{ Bq/m}^3$
 - uudet asunnot $<200 \text{ Bq/m}^3$
- STM asetus 944/92
 - olemassa olevat asunnot $<400 \text{ Bq/m}^3$
 - Uudet asunnot $<200 \text{ Bq/m}^3$
- SRMK osa D2 sisäilma (2003)
 - Uudet rakennukset $<200 \text{ Bq/m}^3$
- SRMK osa B3 perustukset (2004)
 - Uudet rakennukset $<200 \text{ Bq/m}^3$

Radonpitoisuudet ovat pienentyneet kerrostalojen maakontaktiasunnoissa

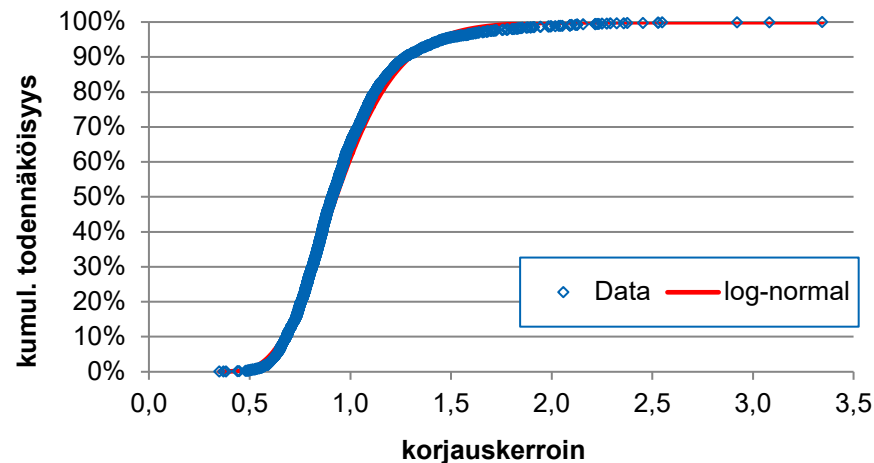


Määritetty STUKin radonmittaustietokannasta ottaen huomioon mittausten epätasainen alueellinen jakautuminen. Suhteellinen radonpitoisuus = asunnon radonpitoisuus jaettuna kyseisen kunnan pientaloasuntojen keskiarvolla

Radonpitoisuus on yleensä suurin talvella

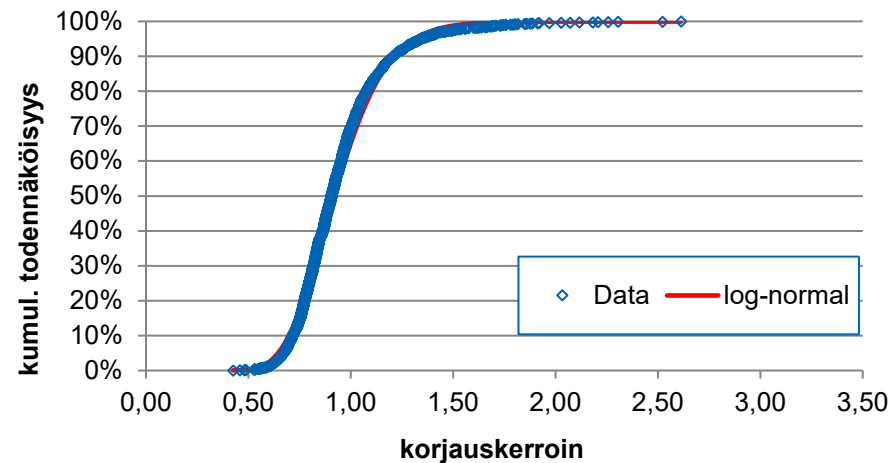
- Sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on suurin (alipaine)
- Kesällä pitoisuutta pienentää myös ikkunoiden aukipitäminen
- Syys-toukokuun välillä mitattu radonpitoisuus on keskimäärin 10 % korkeampi kuin vuosikeskiarvo → Vuodenaikaiskorjauskerroin 0,9

Mittaus 2 kuukautta (syys-toukokuun aikana)



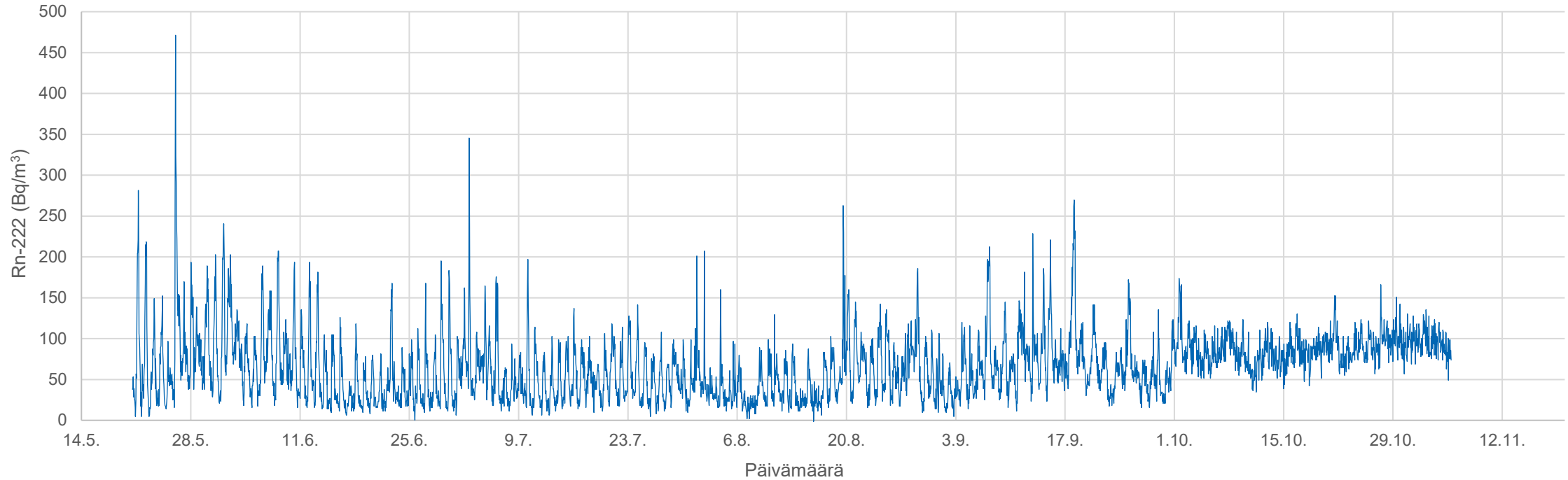
Variaatiokerroin ± 30 %

Mittaus 3 kuukautta (syys-toukokuun aikana)



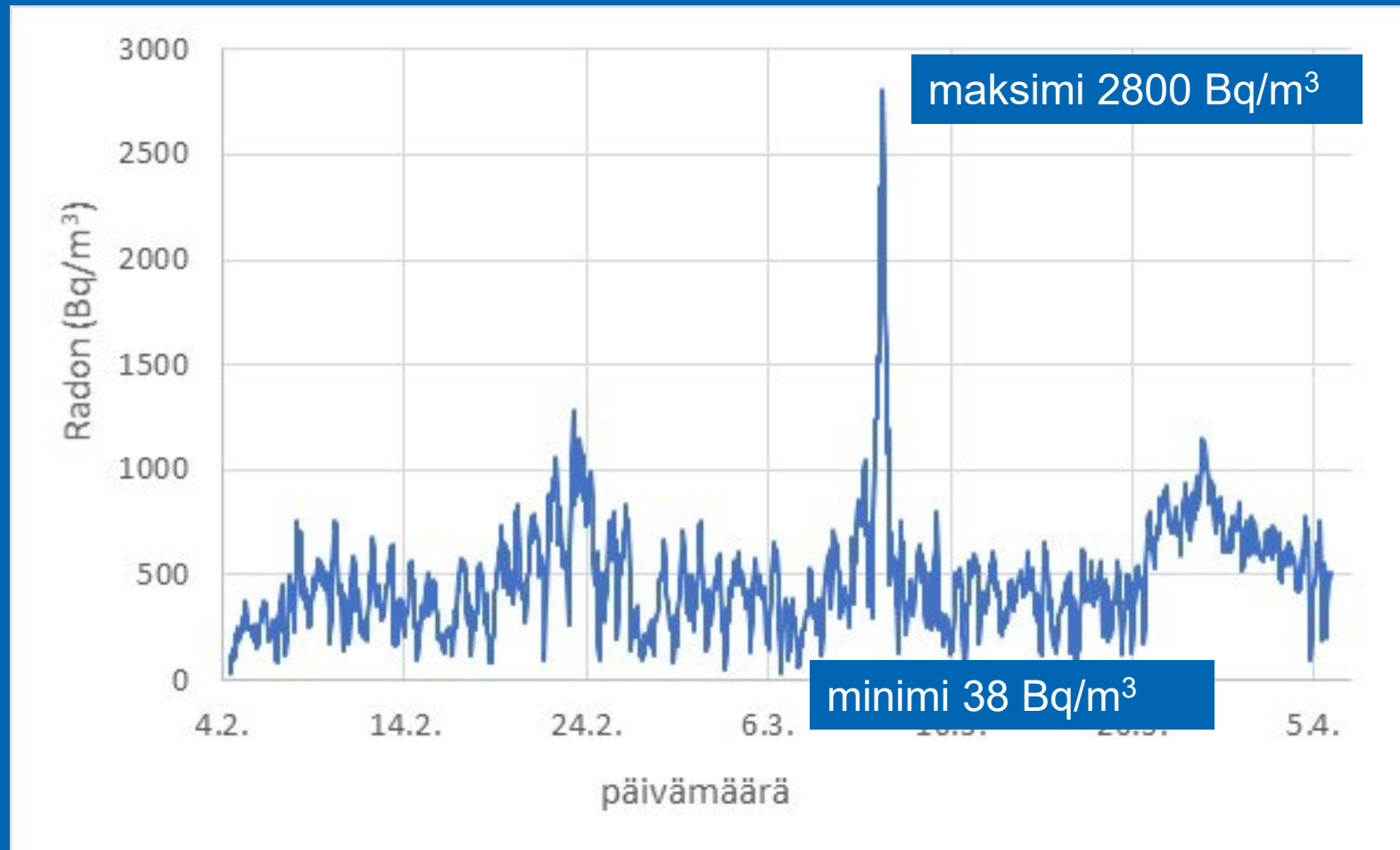
Variaatiokerroin ± 24 %

Asunnon radonin luontaista vaihtelua

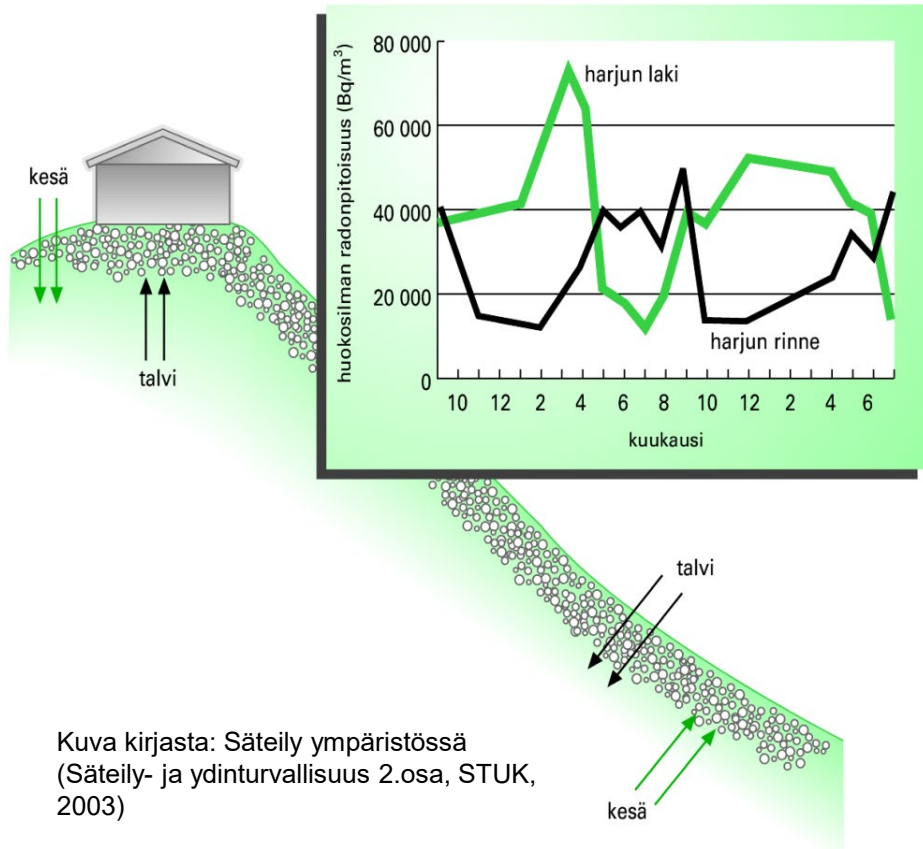


- Lyhyellä mittauksella ei voida luotettavasti todeta vuosikeskiarvoa

Radonpitoisuuden luontaista vaihtelua asunnossa



Kesämaksimejakin löytyy



Kuva kirjasta: Säteily ympäristössä
(Säteily- ja ydinturvallisuus 2.osa, STUK,
2003)

- Harjun alarinteessä kesällä isoimmat pitoisuudet
- Korjauskerroin >1 noin 30 % mittauksista
 - Tutkimuksessa 338 asuntoa

Rakennusmateriaalit

- Asuinkerrostalojen ylemmissä kerroksissa radonpitoisuus keskimäärin 40–50 Bq/m³, aiheutuu betonirakenteista
- Riippuu ilmanvaihdosta ja betonin radioaktiivisuudesta
- Betonielementtipientaloissa rakennusmateriaalien vaikutus on samanlainen kuin kerrostaloissa
- Jos vain lattialaatta on betonista, on lisäys 10–30 Bq/m³.

Radonin ekshalaatio rakennusmateriaaleista (Bq m⁻² h⁻¹)

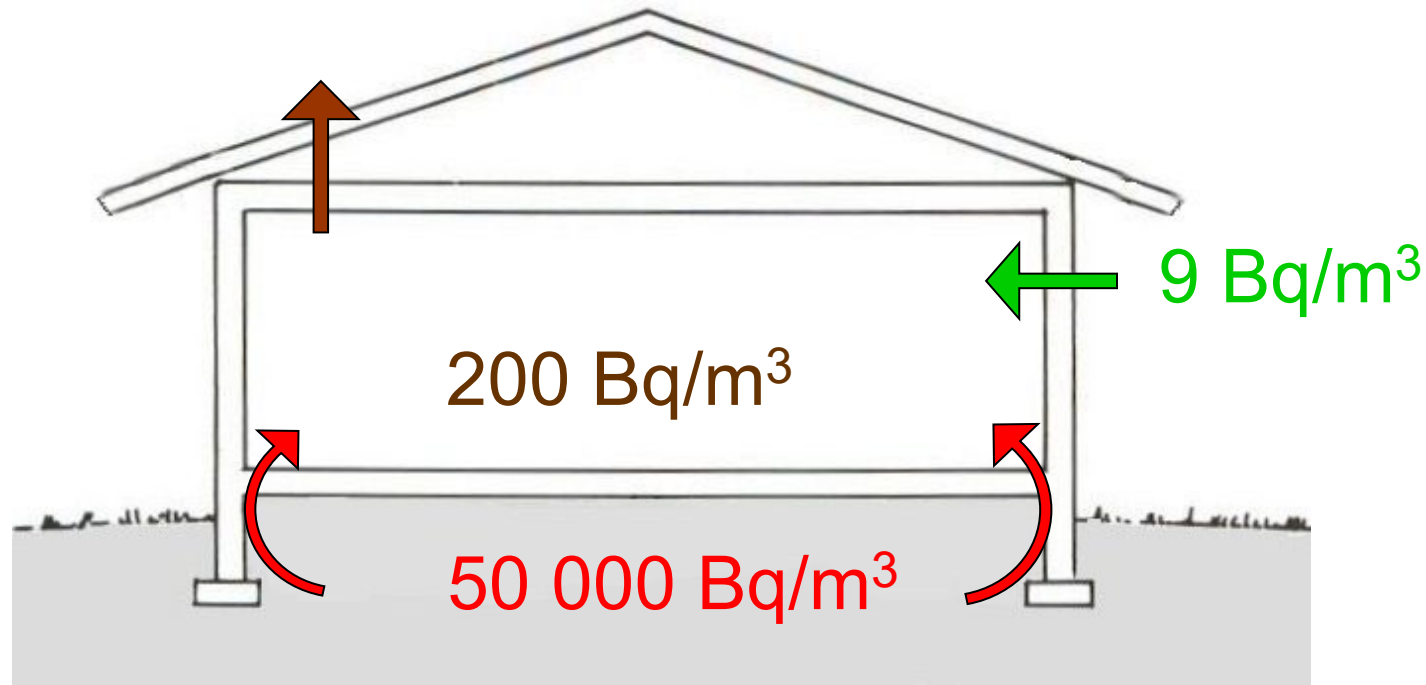
Betoni	7,5 – 32
Sivutuotteesta valmistettu kipsilevy	5 – 42
Kevytbetoni	1 – 3
Tiili	0,4

Radon poistuu ilmanvaihdon mukana

- Riittävä ilmanvaihtuvuus

- Rakennus ei liian alipaineinen

- Kaikki korvausilma pyritään saamaan ulkoilmasta

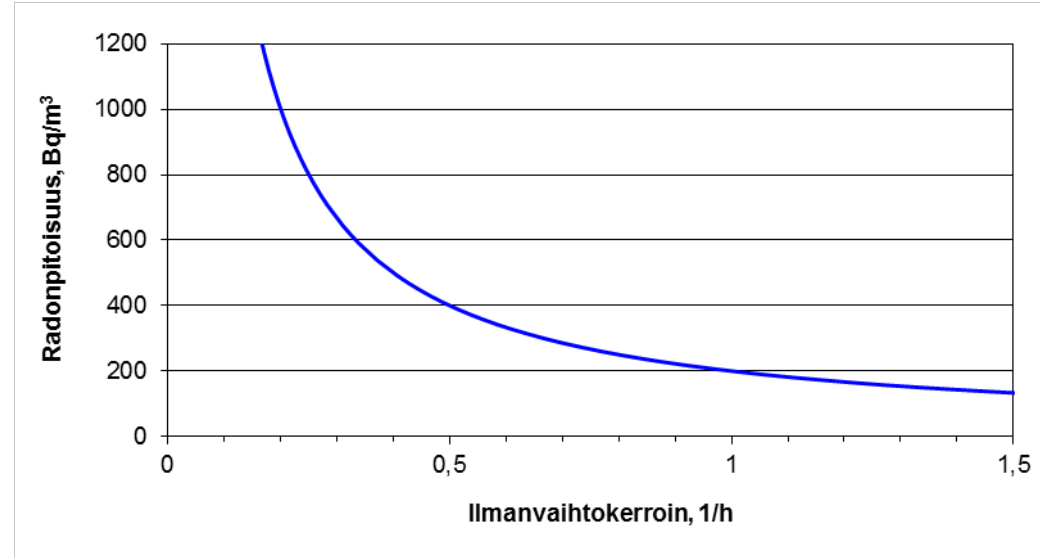


Ilmanvaihdon vaikutus radonpitoisuuteen

Radonpitoisuus Bq/m³ =

Radonia sisään (Bq/h)

Tilavuus (m³) · Ilmanvaihtokerroin (h⁻¹)

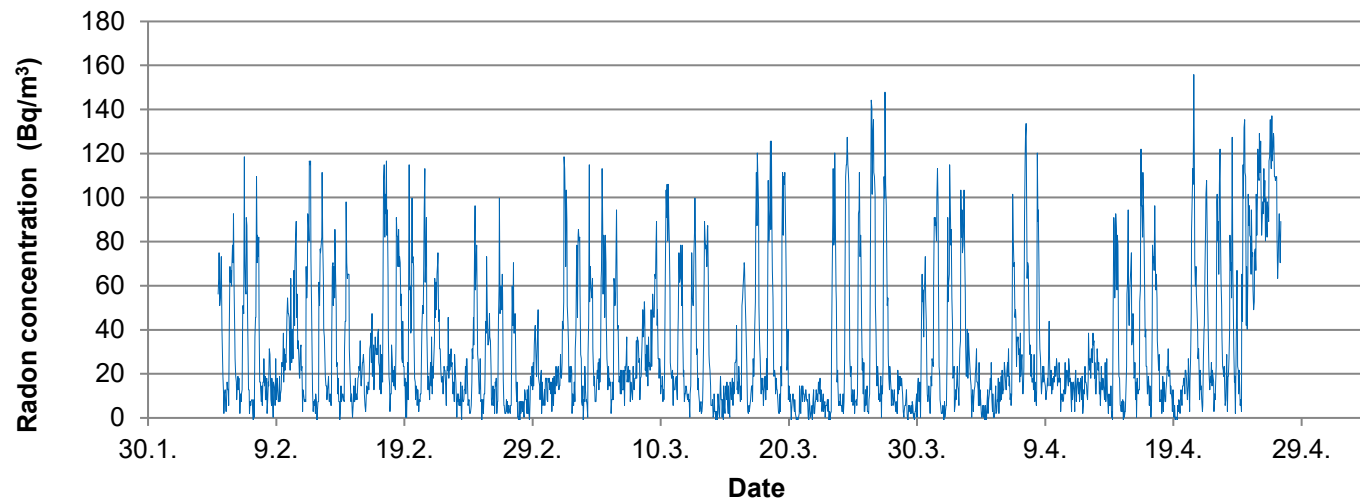
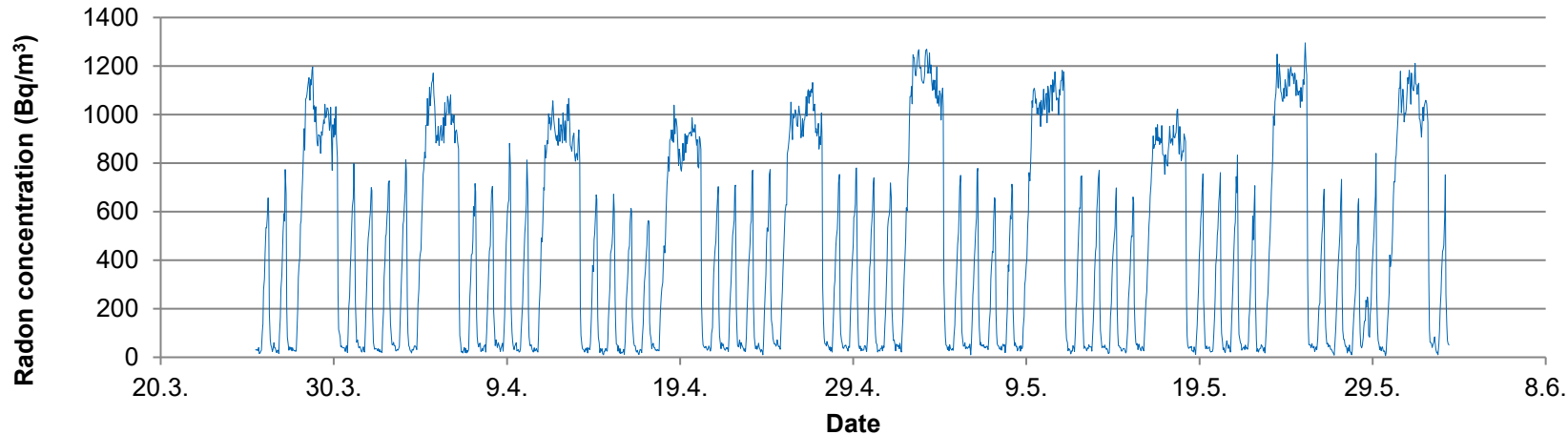


Jos ilmanvaihtokerroin kaksinkertaistetaan lisäämättä talon alipaineisuutta ➡ radonpitoisuus putoaa puoleen

Radonin torjunnan kannalta hyvä ilmanvaihto

- Ilmanvaihtokerroin riittävä — asunnoissa rakentamismääräyksen mukainen $>0,5 \text{ h}^{-1}$
- Ilmanvaihtojärjestelmä ei alipaineista rakennusta liikaa
 - yleinen ongelma jos tehokas koneellinen poisto ja liian vähän korvausilmaventtiileitä
- Ilmanvaihtojärjestelmä asukkaalle miellyttävä
 - asukas ei tee omia (virheellisiä) säätöjä ilmanvaihtoon
 - ”käytetyt sukkahousut korvausilmaventtiilissä, joka tapetoitu piiloon”

Radonpitoisuuden vaihtelu, kun koneellinen ilmanvaihto ei jatkuvaa



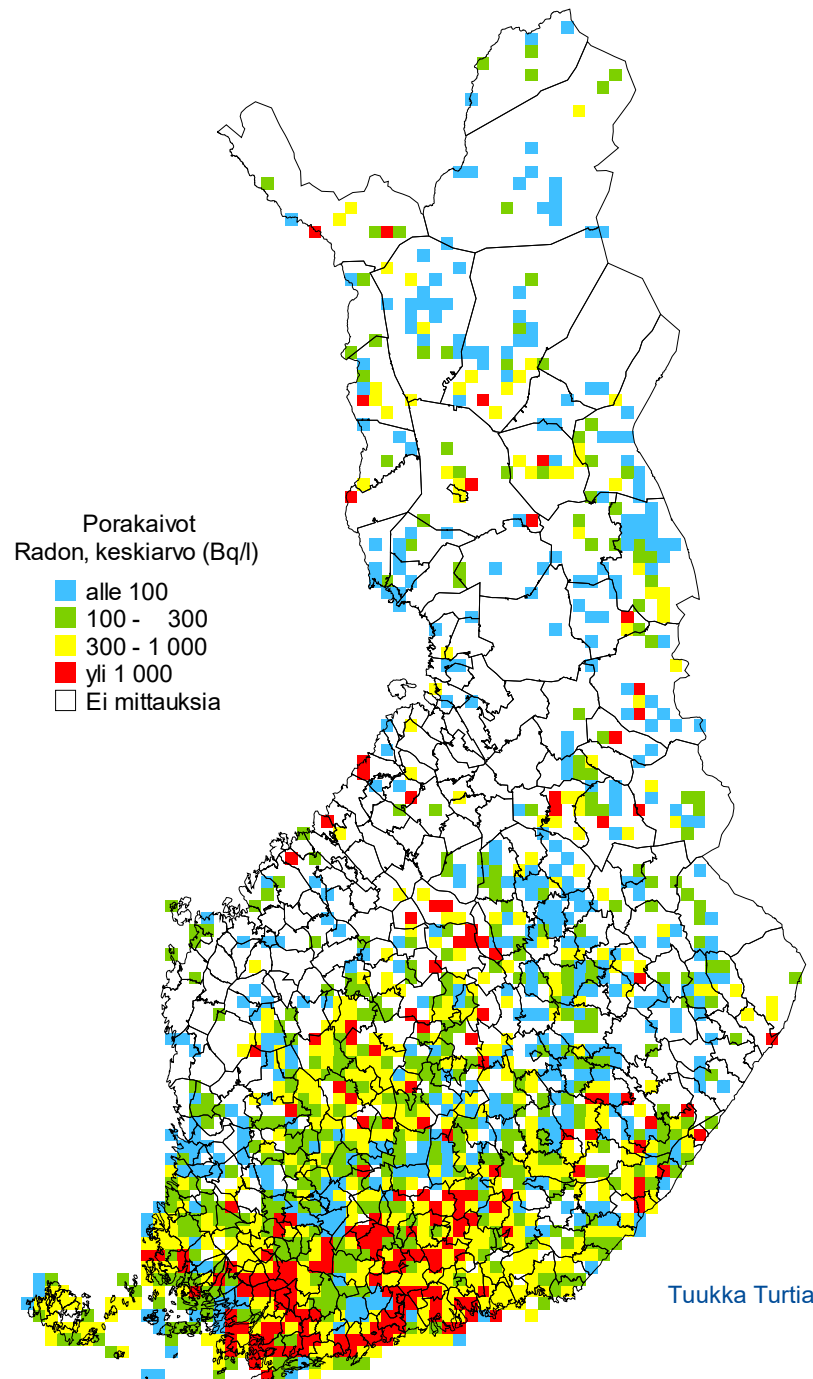
Kuvat julkaisuista: TURTIAINEN, T., KOJO, K., LAINE, J-P., HOLMGREN, O., KURTIO P, 2021. Improving the assessment of occupational exposure to radon in above-ground workplaces. Radiation Protection Dosimetry; 196 (1–2): 44–52.
<https://doi.org/10.1093/rpd/ncab127>

Talousveden radon

- Porakaivovesissä voi esiintyä suuria radonpitoisuuksia (keskimäärin 460 Bq/l, maailmanennätys 130 000 Bq/l Askolassa)
- Radon liukenee veteen peruskalliossa ja vapautuu sisäilmaan ilmaan esim. pesukoneen, astianpesukoneen, suihkun ym. käytössä
- Nyrkkisääntö:
Vedessä 1000 Bq/l \longrightarrow sisäilmassa vedestä peräisin 40 Bq/m³
- Radonpitoisen talousveden terveysriski tulee pääosin hengityksen kautta

Radon ja porakaivot

- Pikkuasetuksen (401/2001) mukaan suositeltu enimmäisarvo yksityiskaivojen veden radonille 1000 Bq/l
- Arviolta 10 %:ssa kaikista Suomen porakaivoista tämä pitoisuus ylittyy
- Radon voidaan poistaa melko helposti ilmastuksella tai aktiivihiilisuodatuksella



Muistellaan

Miksi radonaltistusta pitää rajoittaa?

Mitkä ovat radonin enimmäisarvot?

Mitkä seikat vaikuttavat radonin kulkeutumiseen rakennusten sisäilmaan?



Kertaus: vaikuttavat tekijät

- Maaperän uraanipitoisuus
- Maalaji (ilmanläpäisevyys)
- Maaperän kosteus
- Täyttösorakerroksen paksuus
- Rakennusmateriaalit
- Perustusten raot, läpivientien tiiveys
- Lämpötilaero
- Tuuli
- Ilmanvaihto (painovoimainen/pakotettu, tuulettaminen ovista/ikkunoista)

Lisätietoja www.radon.fi/

Nettisivuilta on ladattavissa (pdf) mm. seuraavat STUKin raportit ja kirja:

- Asuntojen radonkorjaaminen. STUK-A252 Arvela H, Holmgren O, Reisbacka H.
- Radon uudisrakentamisessa – Otantatutkimus 2016 : Ympäristön säteilyvalvonnan toimintaohjelma. Kojo, Katja; Holmgren, Olli; Pyysing, Anni; Kurttio, Päivi
- Radon suomalaisissa asunnoissa – Otantatutkimus 2006. STUK-A242 Mäkeläinen I, Kinnunen T, Reisbacka H, Valmari T, Arvela H.
- Porakaivoveden radon- ja uraanikartasto. STUK-A256 Vesterbacka P, Vaaramaa K.
- Säteily ympäristössä -kirja. (Säteily- ja ydinturvallisuus 2.osa, STUK, 2003).

